PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 20 | 15. Oktober 1933 | Redaktionsschluß für Nr. 22 am 1. November 1933. | 34. Jahrgang

INHALT:

Originalmitteilungen:

W. Bulian, Untersuchungen an Kupferoxydulphotozellen. Ein Beitrag zum Problem des „Sperrschichtphotoeffektes". S. 745.

W. Pupp, Über den Einfluß der Anode auf die Stabilität des homogenen Säulenplasmas in Argon. S. 756.

L. Bergmann, Der optische Nachweis der Oberschwingungen eines Quarzkristalls nach der Methode von Debye und Sears und seine Anwendung zur Schallgeschwindigkeitsmessung in Flüssigkeiten. S. 761.

G. Mönch, Eine Anordnung zur Bestimmung der Resonanzspannung des Quecksilberdampfes für Übungszwecke. S. 765.

S. Pokrovski, Kann das Drehmoment von einem rotierenden Körper auf einen anderen, ihn anziehenden übertragen werden? (Vorläufige Mitteilung.) S. 766.

R. Seeliger und K. Bock, Zur Theorie der Bogenentladung. S. 767.

Besprechungen:

H. Barkhausen, Lehrbuch der Elektronenröhren. II. Band: Verstärker. S. 768.

L. de Broglie, Théorie de la quantification. S. 768.

A. v. Engel und M. Steenbeck, Elektrische Gasentladungen, ihre Physik und Technik. I. Bd. S. 768.

Exposés de physique théorique. VI—VIII. S. 769.

L. Hopf, Einführung in die Differentialgleichungen der Physik. S. 769.

E. Warburg, Lehrbuch der Experimentalphysik. 23. und 24. Aufl. S. 769.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1933/34. S. 770.

Personalien. S. 776.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Untersuchungen an Kupferoxydulphotozellen.

Ein Beitrag zum Problem des „Sperrschichtphotoeffektes".

Von W. Bulian.

I. Einleitung.

Kupferoxydulphotozellen sind in der Literatur schon seit langem bekannt (1). Ihre ausgedehnte Verwendung für praktische Zwecke der Wissenschaft und Technik konnte sich jedoch bisher noch nicht recht durchsetzen. Es liegt dies vor allem daran, daß ihre Eigenschaften bisher noch zu wenig bekannt sind (2; S. 53). Das gilt besonders für die spektrale Empfindlichkeit des Kupferoxydulphotoeffektes und für die Abhängigkeit des Photostromes von der Temperatur der Zelle. Außer diesen beiden für Meßzwecke unbedingt notwendigen Daten ist für die Praxis auch die Kenntnis der Bedingungen von größter Bedeutung, unter denen der Wirkungsfaktor des auffallenden Lichtes ein Maximum ist.

Es war das Ziel der vorliegenden Arbeit, die angeführten Faktoren nach Möglichkeit weitgehend zu klären und so die Anwendungsmöglichkeiten dieser Zellen zu erweitern. Es sei aber schon vorweggenommen, daß die hier gewonnenen Ergebnisse nicht nur für die praktische Verwendung der Kupferoxydulzellen einen Beitrag geliefert haben, sondern auch ganz allgemein für die theoretische Auffassung des Kupferoxydulphotoeffektes neue Gesichtspunkte beigebracht haben.

Die theoretische Deutung der bisher an Oxydulphotozellen gefundenen Erscheinungen ist in der Literatur durchaus nicht einheitlich. Es stehen hier die Ansichten von W. Schottky (3–6), B. Lange (7, 8) u. a. denen von H. Dember (9–11), E. Perucca (12, 13) u. a. gegenüber. W. Schottky vertritt in seiner Sperrschichttheorie die Meinung, daß die Wanderung der durch das Licht ausgelösten Elektronen durch eine zwischen der vom Licht getroffenen Elektrode und dem Kupferoxydul gelegenen „Sperrschicht" in Richtung Oxydul — Elektrode begünstigt, in der umgekehrten Richtung verhindert wird und dadurch das Potentialgefälle (Oxydul +, Elektrode — „Vorderwandeffekt") erzeugt wird. Je nach der Stromrichtung in der Zelle wird hierbei die Sperrschicht entweder zwischen Kupferoxydul und Mutterkupfer oder zwischen Elektrode und Oxydul angenommen.

H. Dember dagegen vertritt auf Grund von Versuchen an Kupferoxyduleinkristallen die Ansicht, daß die Existenz einer Sperrschicht nicht unbedingt notwendig für das Zustandekommen

des Photoeffektes ist. E. Perucca und R. Deaglio lehnen die Existenz der Sperrschicht vollkommen ab und deuten den von ihnen untersuchten Hinterwandeffekt als einen reinen lichtelektrischen Effekt des Oxyduls. Gerade die Tatsache, daß der Sperrschichtphotoeffekt nur in Verbindung mit Halbleitern mit sehr starkem inneren Photoeffekt auftritt, ferner das Ausbleiben des Effektes bei Belichtung eines von ihnen konstruierten Gleichrichters mit unvollkommenem Kontakt zwischen zwei verschiedenen Metallen scheint ihnen eine wichtige Stütze ihrer Theorie.

Zur Erklärung des einmal in Richtung Oxydul — obere Elektrode, einmal in Richtung Oxydul—Mutterkupfer fließenden Elektrodenstromes ist nach W. Schottky die Annahme einer verschiedenen Lage der Sperrschicht notwendig. Diese Annahme konnten K. Scharf und O. Weinbaum (14) umgehen, indem sie durch Strukturuntersuchungen nachwiesen, daß die verschiedene Stromrichtung des Photoeffektes in Kupferoxydulphotozellen beim Vorder- und Hinterwandeffekt durch eine verschiedene Kristallstruktur der Oxydulschicht bedingt ist. Es zeigte sich jedoch bei Vorversuchen zu dieser Arbeit (15), daß diese Bedingung nicht hinreichend diesen Unterschied erklären kann. Die Zellen der vorliegenden Arbeit zeigten beide Stromrichtungen an ein und derselben Zelle. Es mußte deshalb erst einmal entschieden werden, welche Kristallstruktur das Auftreten beider Stromrichtungen ermöglichte.

II. Herstellung der lichtelektrischen Zellen.

a) Kupferoxydulschichten.

Voraussetzung für einen erfolgversprechenden Gang der Untersuchung war die Herstellung einwandfreier und reproduzierbarer Kupferoxydulschichten. Zu diesem Zweck wurde 2 mm starkes Kupferblech[1]) in Platten von 4 × 6 cm zerschnitten. Um bei der folgenden Oxydation ein gleichmäßiges Angreifen des Luftsauerstoffes zu gewährleisten, wurden die Platten in Salpetersäure angeätzt.

Die Herstellung der Kupferoxydulschichten geschah wie üblich durch Oxydation der Kupferplatten bei etwa 1000° C in einem Muffelofen mit Platinwickelung (W. C. Heräus, Hanau). Nach etwa dreistündigem Einbrennen des Ofens wurden je zwei Kupferplatten zwischen Asbestplatten gelegt und in die Muffel gebracht. Die Temperatur der Muffel betrug hierbei etwa 960° C, sie wurde jedesmal mit einem Glühfadenpyrometer nach Holborn und Kurlbaum bestimmt. Die Glühdauer wurde zwischen zehn Minuten und zwei Stunden variiert, je nachdem man dünnere oder dickere Oxydulschichten herstellen wollte.

Die Haltbarkeit der so erhaltenen Oxydulschichten wird durch zwei Eigenschaften des Kupferoxyduls stark in Frage gestellt. Zunächst ist das Oxydul unterhalb 800° C unstabil. Es wird beim Abkühlen von höheren Temperaturen beim Unterschreiten dieser Grenze an der Luft leicht zu der stabilen Form des Kupferoxydes, *CuO*, aufoxydiert. Ferner beeinflußt der unmeßbar kleine thermische Ausdehnungskoeffizient des Kupferoxyduls (16) die Haltbarkeit der Kupfer-Kupferoxydulplatten beträchtlich. Die beim Abkühlen der oxydierten Platten zwischen dem Oxydul und dem Mutterkupfer auftretenden Spannungen haben sehr leicht ein vollständiges Abplatzen der Oxydulschichten zur Folge.

Um also sowohl eine Aufoxydation des Oxyduls als auch ein Abplatzen der Schichten zu verhindern, wurden zunächst die verschiedenen hierzu in der Literatur empfohlenen Maßnahmen auf ihre Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit geprüft. Es zeigte sich, daß bei der sofortigen Abkühlung durch Löschen in Wasser, wie sie von R. Fleischer und H. Teichmann (17) empfohlen wird, in 80 Proz. der Fälle fast die gesamte Oxydulschicht von der Unterlage abplatzte. Wurden dagegen die oxydierten Platten ohne weitere Schutzmaßnahmen unter Luftzutritt gekühlt, so wurden die Oberflächen zumeist zu Kupferoxyd aufoxydiert. Ein großer Teil der Schichten ging ebenfalls durch Abplatzen verloren.

Nach vielen Versuchen wurde ein Weg gewählt, der auch sonst bei metallurgischen Prozessen häufig angewendet wird. Die Platten wurden nach dem Herausnehmen aus dem Ofen in einen mit Kohlepulver halbgefüllten Graphittiegel gelegt, mit Kohlepulver bedeckt und der Tiegel mit Asbestplatten verschlossen. Hierdurch war ein langsames und gleichmäßiges Abkühlen der Platten (Vermeidung innerer Spannungen) gewährleistet. Zugleich wurde auch die vollständige Oxydation der Oberfläche zu Kupferoxyd vermieden, sie wurde sogar stellenweise zu Kupfer reduziert. War die Temperatur der Platten auf etwa 100° C gesunken, so wurden sie in Wasser von Zimmertemperatur abgeschreckt. Es hatte sich gezeigt, daß durch dieses Verfahren das Abwaschen der zum Teil noch vorhandenen dünnen Oxydhaut erleichtert wurde.

1) Benutzt wurde hierzu Raffinadekupfer mit einem Reinheitsgrad von 99,6 Proz. Es war nicht notwendig, Kupfer von höherem Reinheitsgrad zu verwenden, da die Versuche mit 99,9prozentigem Elektrolytkupfer zeigten, daß in keiner Beziehung Unterschiede in dem Verhalten der Zellen aus Raffinade- bzw. Elektrolytkupfer gefunden werden konnten.

Vor dem Aufbringen der Abnahmeelektrode wurden die Platten in konzentrierter Kaliumcyanidlösung vom Kupferoxyd befreit und dann in 30prozentiger Salpetersäure 30 Sekunden lang geätzt.

Bei der hier beschriebenen Herstellungsart erhielt man eine hundertprozentige Ausbeute. Die Platten waren von vollständig gleicher Beschaffenheit und zeigten unter dem Mikroskop völlig gleiche Kristallstruktur. Die Größe der Zellen betrug gewöhnlich 4×6 cm, es gelang jedoch leicht, Platten bis zu 8×16 cm herzustellen, deren Oxydulschichten ebenso fehlerfrei waren wie die der kleineren Zellen. Noch größere Platten herzustellen verboten die Ausmaße des Muffelofens.

Auf eine thermische Nachbehandlung der Zellen, das sogenannte Tempern (18), wurde verzichtet. Eigene Versuche hatten ergeben, daß der behauptete Einfluß auf den Photostrom bei unseren Zellen nur ganz untergeordnete Bedeutung besaß. Selbst ein 15stündiges Tempern bei etwa 450° C machte sich kaum bemerkbar.

b) Abnahmeelektrode.

Nachdem die Herstellung einwandfreier Kupfer-Kupferoxydulplatten gelungen war, galt es festzustellen, welche Form der Abnahmeelektrode für den Effekt besonders günstig war. Es zeigte sich bei den hierzu angestellten Versuchen, daß aufgestäubte oder aufgedampfte Elektroden gegenüber aufgepreßten Kupferdrahtspiralen ihres geringeren Übergangswiderstandes wegen geeigneter für einen maximalen Photoeffekt waren. Der Widerstand einer Zelle mit aufgestäubter Elektrode sank gegenüber dem einer Zelle mit Drahtnetzelektrode von etwa 10^5 Ohm auf 10^3 Ohm. Als Abnahmeelektrode wurde deshalb stets eine dünne, durchsichtige Metallschicht auf die Oxydulschichten aufgebracht. Sie wurde meist durch Kathodenzerstäubung, teilweise auch durch Verdampfung des betreffenden Metalles hergestellt.

Die Kathodenzerstäubungsanlage bestand wie üblich aus einem auspumpbaren Rezipienten, der, in zwei Schliffen eingeschmolzen, Anode und Kathode trug. Letztere bestand aus einem 2 mm starken, 8×8 cm großen Kupferblech, das von dem Kathodenhalter abgeschraubt werden konnte und auf das die jedesmal zur Verwendung kommenden Metallbleche befestigt wurden. Stromstärke und Spannung wurden an einem Milliamperemeter und einem statischen Voltmeter abgelesen. Auf eine Messung des Vakuums konnte verzichtet werden, da die Entladungserscheinungen und die Stromstärke hierüber hinreichend Aufschluß gaben. Gepumpt wurde mit einer Quecksilberdampfstrahlpumpe nach Volmer, der eine Kapselölpumpe als Vorpumpe vorgeschaltet war.

In einigen Fällen wurde die Abnahmeelektrode durch Verdampfen des betreffenden Metalles hergestellt. Hierzu wurde ein Verdampfungsgefäß folgender Konstruktion benutzt. Der Kern eines Normalschliffes von 5 cm lichter Weite trug an zwei angeschmolzenen Röhren, die in Platineinschmelzungen endeten, zwei Nickelklemmen, die erlaubten, Wolframwendeln mit verschiedenen Metallbeschickungen zu verwenden. Das Verdampfungsgefäß konnte in einem Ofen bis etwa 300° C ausgeheizt werden, ohne daß die Fettdämpfe des Schliffes, der nur im äußeren Drittel gefettet war, einen störenden Einfluß auf den Verdampfungsvorgang ausgeübt hätten.

Gepumpt wurde mit einer dreistufigen Glasdiffusionspumpe, der wieder eine Ölpumpe vorgeschaltet war. Ein MacLeod-Manometer gestattete, Drucke bis zu 10^{-6} mm zu messen, während eine Ausfriertasche zwischen Pumpe und Verdampfungsgefäß schädliche Fett- und Quecksilberdämpfe von der eingebrachten Kupfer-Kupferoxydulplatte fernhielt.

An die Abnahmeelektrode und an das Mutterkupfer derart bestäubter oder bedampfter Kupfer-Kupferoxydulplatten wurden dünne Kupferdrähte mit Woodschem Metall angelötet. Man erhielt so einen sauberen Kontakt, der sich im Gegensatz zu dem üblichen angepreßten Metallkontakt nicht durch Verlagern verändern konnte. Bei Abnahmeelektroden aus Nickel mußten die Stellen, an denen gelötet werden sollte, durch Kathodenzerstäubung vorher versilbert werden, um das Anlöten zu ermöglichen.

III. Strukturuntersuchung.

Bei der Nachprüfung der bereits oben erwähnten Ergebnisse von Scharf und Weinbaum (vgl. S. 746) war es früher gelungen, an ein und derselben Kupferoxydulschicht sowohl „Vorderwand-“ als auch „Hinterwandeffekt“ zu erhalten. Es war wenig naheliegend, zur Erklärung dieses Effektes auch hier eine Verschiedenheit in der Kristallitlagerung des Oxyduls heranzuziehen. Viel näher lag die Vermutung, daß äußere Faktoren, die in der Konstruktion der Zelle und in der übrigen experimentellen Versuchsanordnung begründet sein konnten, maßgeblichen Einfluß auf die Richtung des Photostromes hatten.

Die Versuchsbedingungen waren die folgenden. Eine 4×6 cm große Zelle, deren Oxydulschichtdicke $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ cm betrug, war in drei Felder eingeteilt, die mit verschiedenen

Abnahmeelektroden versehen waren und wahlweise an ein empfindliches Galvanometer angeschlossen werden konnten. Von dem mit I bezeichneten Feld konnte der Photostrom mit Hilfe einer dünnen, aufgestäubten Goldschicht, von Feld II mittels einer aufgepreßten Kupferdrahtspirale und vom dritten Feld durch eine stärkere Goldschicht abgenommen werden. Als Lichtquelle diente eine Wolframglühlampe (50 Watt, 220 Volt, 50 cm Entfernung).

Bei diesen Bedingungen ergab das erste und zweite Feld der Zelle ein negatives Potential des Mutterkupfers (Hinterwandeffekt), das dritte Feld dagegen ein negatives Potential der Abnahmeelektrode (Vorderwandeffekt). Die Stromrichtung in der Zelle zeigte sich also abhängig von der Dicke der Abnahmeelektrode.

Da die Wirkung der verschieden dicken Goldelektroden auch mit deren Lichtfilterwirkung dem auftreffenden Licht gegenüber erklärt werden konnte, wurde nun zur Stützung dieser Annahme versucht, die Stromrichtung durch Wahl der Lichtquelle zu beeinflußen. Bei diesen Versuchen erzeugte das Licht einer Quarzquecksilberlampe auf allen Feldern der Versuchszelle die mit „Vorderwandeffekt" gekennzeichnete Stromrichtung. Die Annahme der Lichtfilterwirkung war also dadurch weitgehend gesichert.

Die Ablehnung der von K. Scharf und O. Weinbaum vertretenen Ansicht, daß Vorder- und Hinterwandeffekt nur auf einer Verschiedenheit in der Lagerung der Kupferoxydulkristallite beruhe, mußte jedoch noch weiter gestützt werden. Zwar war es schon a priori wenig wahrscheinlich, daß die Lagerung der Oxydulkristallite in den drei Feldern der Versuchszelle verschieden war, doch mußte dies durch eine metallographische Strukturuntersuchung noch ausdrücklich bestätigt werden.

Zu diesem Zweck wurde die Zelle in der Längsrichtung durchschnitten und einige Querschnittschliffe angefertigt. Die Kristallstruktur der Oxydulschicht wurde auf dem angeätzten Schliff unter Benutzung eines Metallmikroskops mit Opakilluminator (E. Leitz, Wetzlar) visuell untersucht und an mehreren Stellen photographiert.

Die Photographien lassen an allen Stellen der Zellen die Grenzen der durchgehenden, auf dem Mutterkupfer senkrecht aufgewachsenen Kupferoxydulkristallite gut erkennen; sie sind völlig analog den von Scharf und Weinbaum an „Hinterwandzellen" erhaltenen. Auch visuell wurde kein Unterschied in Kristallitgröße und -lagerung auf den drei Feldern der Versuchszelle gefunden. Es zeigt sich also, daß die Struktur der Kupferoxydulschicht kein Kriterium für das Auftreten nur einer Stromrichtung des Photoeffektes ist. An Oxydulschichten mit senkrecht auf der Oberfläche der Kupferplatte aufgewachsenen Einkristalliten kann man also sowohl das Auftreten der mit „Vorderwand-" als auch mit „Hinterwandeffekt" gekennzeichneten Stromrichtung des Photoeffektes erhalten.

IV. Spektraluntersuchung.

Die Kenntnis der spektralen Empfindlichkeitsverteilung der Kupferoxydulphotozellen ist, vor allem soweit es sich um die für praktische Zwecke besonders geeignete Vorderwandzelle handelt, noch nicht so vollständig, daß solche Zellen als Lichtmeßgeräte allgemeinere Anwendung finden können. Es erschien daher sehr wertvoll, auch hierüber Untersuchungen anzustellen. Besonderes Interesse verdiente dabei der Einfluß des Elektrodenmaterials, der Elektrodendicke und der Dicke der Oxydulschicht auf die spektrale Verteilung des Photostromes der Zellen.

Aber nicht nur für die praktische Anwendung der Oxydulzellen versprachen diese Untersuchungen Aufschlüsse zu bringen. Vielmehr war durch die oben (s. S. 748) nachgewiesene Beeinflussung des Effektes durch die Dicke der Abnahmeelektroden die Überzeugung gewonnen worden, daß über das Wesen des Effektes nur durch spektrale Untersuchungen weitgehendere theoretische Anschauungen ermöglicht werden konnten.

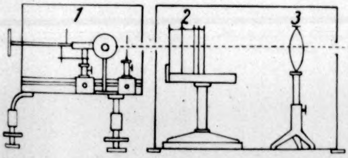
a) Apparatur.

Um auch Zellen mit kleinen Photoströmen, wie sie bei sehr geringen Schichtdicken der aufgestäubten Elektrode durch deren hohen Widerstand zu erwarten waren, einwandfrei auf ihre spektrale Empfindlichkeit untersuchen zu können, mußte eine Versuchsanordnung gewählt werden, die bei guter spektraler Reinheit große Lichtintensitäten zu liefern imstande war. Es wurde deshalb mit einer Filterapparatur gearbeitet, bei der die Linien des Quecksilberbogens durch geeignete Filterkombinationen isoliert wurden. Benutzt wurden hierzu folgende Filtergruppen (19):

1. Rot, 612–623 mμ:
   Konzentrierte Lösung von Chrysoidin in 1 cm Schichtdicke, dazu 5 cm dest. Wasser.
2. Gelb, 577–579 mμ:
   Eine 3prozentige Kupfersulfatlösung in 3 cm Schichtdicke, dazu 1 cm Chininhydrochloridlösung (2 g in 100 ccm H_2O, angesäuert mit 6 ccm HCl), dazu 1 cm Erythrosin + Tartrazin (0,02 g Tartrazin + 0,02 g Erythrosin in 100 ccm H_2O).

3. Grün, 546 $m\mu$:
3 cm einer 3prozentigen Kupfersulfatlösung, dazu 1 cm Chininhydrochloridlösung (s. o.), dazu 3 cm Tartrazin (0,02 g in 100 ccm H_2O), dazu 1 cm einer 0,01prozentigen Guineagrünlösung, dazu 1,3 cm Didymglas.
4. Grün, 492 $m\mu$:
3 cm einer 3prozentigen Kupfersulfatlösung, dazu 1 cm Chininhydrochloridlösung (s. o.), dazu 2 cm einer 0,02prozentigen Guineagrünlösung.
5. Blau, 436 $m\mu$:
3 cm einer 3prozentigen Kupfersulfatlösung, dazu 1 cm Chininhydrochloridlösung (s. o.), dazu 5 cm Säurerhodamin (0,003 g in 100 ccm H_2O).
6. Violett, 405–408 $m\mu$:
3 cm einer 3prozentigen Kupfersulfatlösung, dazu 0,7 cm Sinuvalglas, dazu 1 cm einer 0,1prozentigen Methylviolettlösung.

Als Flüssigkeitströge wurden sogenannte „Leyboldsche Tröge" von 10 × 10 cm äußerem Umfang und der betreffenden Dicke angewendet, die genügend planparallel waren, um den Strahlengang nicht merklich zu beeinflussen. Als Lichtquelle diente ein Quarzquecksilbergleichstrombrenner (Hanau).



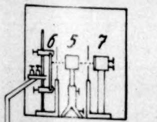


Fig. 1. Filterapparatur.
1 = Untersuchungskasten
2 = Flüssigkeitsfilter
3 = Achromat
4 = Lichtquelle
5 = Drehprisma
6 = Kupferoxydulphotozelle
7 = Thermosäule.

Die Messung des lichtelektrischen Stromes geschah mit einem Siemens-Spiegelgalvanometer von etwa 80 Ohm innerem Widerstand und einer Stromempfindlichkeit von $2{,}5 \cdot 10^{-9}$ Amp./Sktl. (bei 1 m Skalenabstand). Die Energie des monochromatischen Lichtes wurde mit einer Mollschen Großflächenthermosäule und einem Siemens-Spiegelgalvanometer von 10 Ohm innerem Widerstand gemessen. Der Strahlengang der ganzen Anordnung ist aus den Figuren 1a und 1b zu ersehen. Zwei Blenden rechts und links vom Drehprisma ließen jeweils die gleiche Lichtmenge in die Thermosäule und auf die Kupferoxydulzelle fallen.

Die spektrale Reinheit des mit dieser Anordnung erzeugten monochromatischen Lichtes wurde vor jeder Messung durch ein Spektroskop geprüft. Es zeigte sich nur die eingestellte Quecksilberlinie, was auf eine weit über 99prozentige chromatische Reinheit des Lichtes schließen ließ.

Da es von Interesse war, die Spektralverteilung des Photoeffektes im ultravioletten Spektralbereich zu bestimmen, wurde für die Untersuchung in diesem Gebiet mit einem großen Doppelmonochromator von C. Leiss (Apertur 1 : 3,3) gearbeitet. Die Anordnung ist prinzipiell die gleiche wie die der Filterapparatur. Auch hier wurde der in der Längsrichtung des Kastens eintretende Strahl durch ein total reflektierendes Prisma auf die zu untersuchende Oxydulzelle geworfen, nur wurde zur Energiemessung nicht wie dort eine Thermosäule, sondern eine Kaliumphotozelle aus Quarz verwendet. Diese war in mehreren Nachtmessungen über das Bolometer und ein Zernicke-Galvanometer von der Stromempfindlichkeit $8 \cdot 10^{-10}$ Amp./Sktl. (bei 1 m Skalenabstand) geeicht worden. Ein Anschluß der mit der Filterapparatur gemessenen Werte an die des kürzwelligen Gebietes war leicht dadurch möglich, daß beide Anordnungen geeicht waren und in beiden Fällen mit denselben Blenden und Blendenabständen gearbeitet wurde.

b) Der Einfluß von Elektrodenmaterial und Elektrodendicke auf die Spektralverteilung der Empfindlichkeit.

Zur Untersuchung des Einflusses von Elektrodenmaterial und Elektrodendicke auf den lichtelektrischen Effekt in Abhängigkeit von der Wellenlänge wurden für die Abnahmeelektroden Metalle gewählt, die neben guter Leitfähigkeit auch eine gewisse chemische Beständigkeit an der Luft aufweisen, nämlich Platin, Gold, Silber und Nickel. Bei Platin lag die Vermutung nahe, daß das auch bei den übrigen Metallen vorhandene Kontaktpotential gegenüber dem Kupferoxydul beim Zerstäuben in der Wasserstoffatmosphäre geändert wird, weil beträchtliche Mengen von Gas okkludiert werden. Eine solche Veränderung von Kontaktpotentialen mit wechselndem Gasgehalt ist schon früher von R. Vieweg (20), J. Kluge (21) und W. Bennewitz (22) nachgewiesen worden. Die Möglichkeit einer Beeinflussung des lichtelektrischen Effektes der

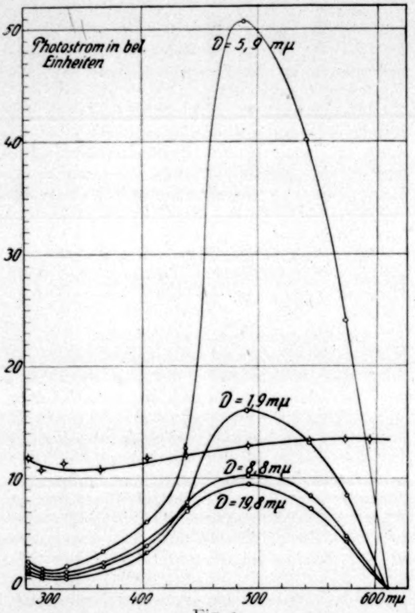


Fig. 2.
Spektralverteilung platinbestäubter Cu_2O-Zellen.

Kupferoxydulphotozellen konnte also nicht unberücksichtigt bleiben. Deshalb wurden auch Zellen untersucht, deren Platinelektrode in Argon aufgestäubt bzw. im Hochvakuum aufgedampft worden war.

Neben jeder Messung des Photostromes einer Zelle wurden eine Schichtdickenbestimmung und eine Messung der optischen Durchlässigkeit der betreffenden Elektrode vorgenommen. Zu diesem Zwecke wurden die mit konzentrierter Salpetersäure spiegelblank geätzten Kupfer-Kupferoxydulplatten vor der Zerstäubung des Elektrodenmaterials mit einem vorher auf der Mikrowaage ausgewogenen Deckgläschen zur Hälfte bedeckt. Diese wurden nach der Zerstäubung sofort zurückgewogen. Aus der Differenz mit der unbestäubten Platte, deren Fläche und dem spezifischen Gewicht des zerstäubten Metalles wurde die Schichtdicke hinreichend genau bestimmt. Die Durchlässigkeit und die Gleichmäßigkeit der aufgestäubten Metallschichten wurden hiernach mit einer Thermosäule gemessen. Die Schichten waren innerhalb der Meßgenauigkeit vollkommen gleichmäßig über die Fläche verteilt. Die spektralen Durchlässigkeitswerte der Elektrodenmetalle, die aus den Fig. 2–5 ersichtlich sind, können nicht hinreichend Aufschluß geben über das Absorptionsverhalten bei allen Wellenlängen des ultravioletten und sichtbaren Spektralbereiches, da hierzu ausführlichere Messungen notwendig wären. Sie sollen nur einen Anhalt dafür geben, wie weit die spektrale Lichtfilterwirkung der aufgestäubten Abnahmeelektroden die spektrale Verteilung des Photoeffektes beeinflußt.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in den Figuren 2–5 aufgetragen. In den Figuren sind die Spektralverteilungen der Durchlässigkeiten der Elektrodenmetalle ebenfalls angegeben. Die Absorption des Deckgläschens, auf das zerstäubt wurde, ist dabei berücksichtigt worden.

Die zu den einzelnen Elektrodenmetallen gehörenden Kurven jeder Figur, die die Abhängigkeit des Photoeffektes von der Schichtdicke darstellen, zeigen, daß es für jedes Elektrodenmetall ein Optimum der Schichtdicke gibt. Dieses ist durch den für geringe Schichtdicken vorhandenen großen Widerstand dem Photostrom gegenüber, für größere Dicken der Elektroden durch die dann beträchtliche Absorption des auffallenden Lichtes eindeutig erklärt.

Die Wirkung der aufgestäubten Elektrode als Lichtfilter ist im ultravioletten Spektralgebiet an Silber (Fig. 4) deutlich zu erkennen.

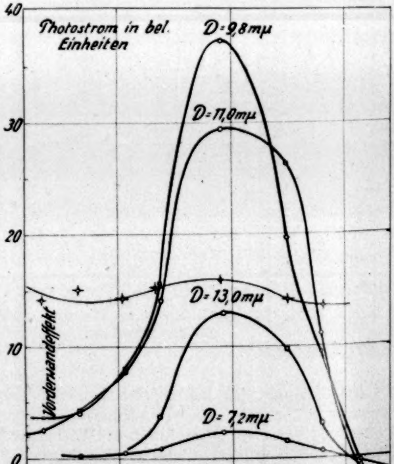


Fig. 3.
Spektralverteilung goldbestäubter Cu_2O-Zellen.

Die Maxima der Durchlässigkeit im Spektralgebiet um 320 mμ machen sich als Maxima im spektralen Verlauf des Photostromes der Kupferoxydulzellen bemerkbar. Störend ist die Lichtfilterwirkung der Elektrode, wie zu erwarten war, im roten und infraroten Spektralbereich besonders bei Platin, Silber und Nickel; nur Gold ermöglicht eine deutliche Umkehr der Wanderungsrichtung der lichtelektrisch ausgelösten Elektronen. Diese bei etwa 600 mμ auftretende Richtungsänderung kann sich bei Kupferoxydulphotozellen mit Platin-, Silber- und Nickelabnahmeelektroden wahrscheinlich wegen der in diesem Spektralgebiet bei diesen Metallen vorhandenen starken Absorption nicht ausbilden, der Photoeffekt verschwindet bei diesen Zellen oberhalb 600 mμ.

Die im langwelligen Teil des Spektrums an Oxydulzellen mit Goldelektroden auftretende umgekehrte Richtung des Photostromes entspricht der mit ,,Hinterwandeffekt" bezeichneten (Elektrode +, Mutterkupfer —), die Stromrichtung des Photoeffektes unterhalb 600 mμ ist die des ,,Vorderwandeffektes" (Elektrode —, Mutterkupfer +).

Um einen möglichen Einfluß der Kontaktpotentialdifferenzen zwischen den Elektrodenmetallen und dem Kupferoxydul aufdecken zu können, war es notwendig, die durch die verschiedene Lichtabsorption der einzelnen Elektrodenmaterialien erzeugten Unterschiede des auf das Oxydul auftreffenden Lichtes zu berücksichtigen. Die für $\lambda = 436$ mμ gemessenen Werte der Photoströme[1]) von platin-, gold-, silber- und nickelbestäubten Kupferoxydulzellen verhalten sich, auf gleiche, durch die Elektroden durchfallende Lichtenergie bezogen, zueinander wie

$$2 : 1 : 6 : 1.$$

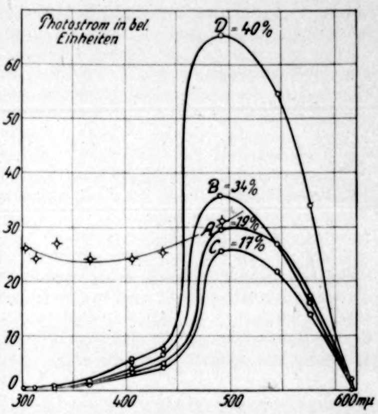


Fig. 5. Spektralverteilung nickelbestäubter Cu_2O-Zellen. Da die Schichtdicken der Elektroden unbestimmbar waren, wurde ihre Durchlässigkeit bestimmt.

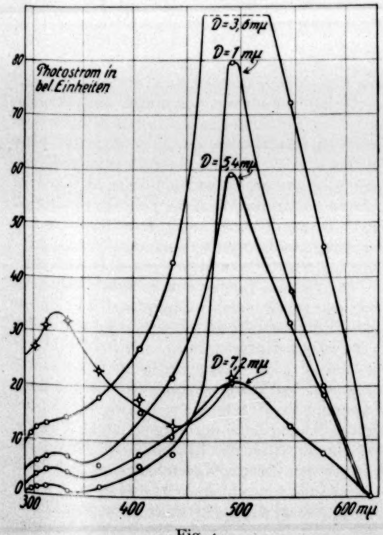


Fig. 4.
Spektralverteilung silberbestäubter Cu_2O-Zellen.

Im Anschluß hieran wurden noch Versuche angestellt, Kupfer-Kupferoxydulplatten in Argon mit Platin zu bestäuben, oder die Platinelektrode im Hochvakuum aufzudampfen. Hierdurch wurde eine Änderung der Kontaktpotentiale zwischen Elektrode und Oxydul gegenüber den in Wasserstoff aufgestäubten, stark gashaltigen Platinelektroden hervorgerufen (20—22). Diese zog jedoch weder eine Änderung der Größe noch der Spektralverteilung des Effektes nach sich.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich keinerlei Schlüsse auf das Mitwirken von Kontaktpotentialen am Zustandekommen der bei Belichtung der Kupferoxydulphotozellen auftretenden Potentialdifferenzen ziehen, da diese in der Reihenfolge Platin, Gold, Silber und Nickel sich im

1) Mit Wolframglühlampe bzw. Quecksilberdampflampe als Lichtquelle wurden außerdem Zellen mit Abnahmeelektroden aus *Pt*, *Au*, *Ag*, *Ni*, *Mo*, *Ta*, *Pd* und *Fe* miteinander verglichen. Von allen Zellen ergaben die mit Silber bestäubten die größte Stromausbeute.

obigen Verhältnis als fallende Zahlenfolge bemerkbar machen müßten.

Die spektralen lichtelektrischen Eigenschaften von Kupferoxydulphotozellen sind nach den Ergebnissen der vorliegenden Versuche weitgehend unabhängig von den optischen Eigenschaften der aufgestäubten Abnahmeelektrode, soweit es sich um den Vorderwandeffekt im Sichtbaren handelt. Im Ultravioletten und im Infraroten dagegen machen sich die Absorptionseigenschaften doch bemerkbar (vgl. Fig. 3 u. 4). Ebensowenig beeinflußt wird der Effekt durch eine Veränderung der Herstellungsweise der Abnahmeelektrode. Für die Wanderungsrichtung der lichtelektrisch ausgelösten Elektronen sowie für das selektive Maximum des Effektes muß demnach allein das Kupferoxydul verantwortlich gemacht werden.

c) Der Einfluß der Schichtdicke des Kupferoxyduls.

Zur Untersuchung des Einflusses der Oxydulschichtdicke auf die Spektralverteilung des Photoeffektes wurde eine Zelle mit dicker Kupferoxydulschicht verwendet. Diese wurde durch Anätzen in konzentrierter Salpetersäure schrittweise verdünnt. Jede Ätzung rief an beiden Seiten der Zelle eine gleiche Verminderung der Oxydulschicht hervor, was durch langsame Rotation der vertikal eingespannten Zelle im Ätzgefäß erreicht worden war. Vor und nach jeder Ätzung wurde die Dicke der Zelle mit der Mikrometerschraube gemessen, die Dicke der dünnsten Schicht wurde, nachdem die Zelle durchsägt und angefräst worden war, unter dem Meßmikroskop bestimmt. Es konnte so rückwärts die Schichtdicke jeder einzelnen Stufe berechnet werden.

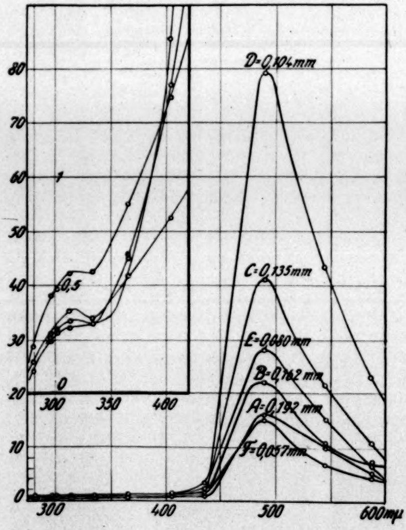


Fig. 6. Spektralverteilung des Photostromes einer CuO-Zelle bei verschiedener Schichtdicke des Oxyduls.

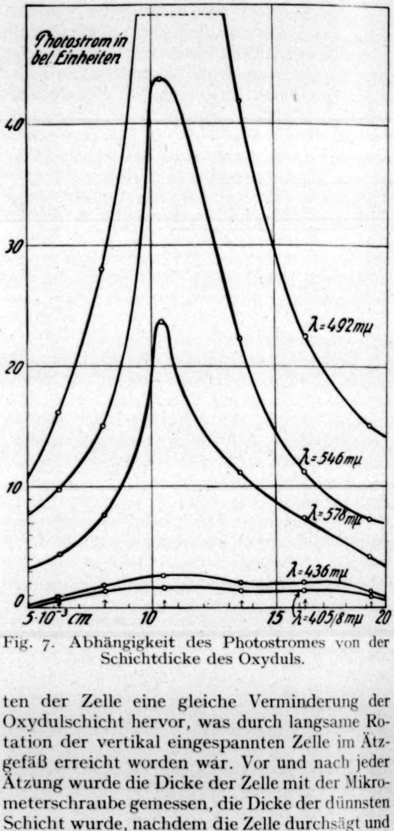


Fig. 7. Abhängigkeit des Photostromes von der Schichtdicke des Oxyduls.

Als Material für die aufgestäubte Abnahmeelektrode wurde Silber verwendet. Die besonders hohe Empfindlichkeit silberbestäubter Zellen (vgl. Fig. 4) gestattete, die lichtelektrische Untersuchung an der Doppelmonochromatorapparatur vorzunehmen. Voraussetzung für die Erzielung einwandfreier Ergebnisse war eine weitgehend gleiche Schichtdicke der aufgestäubten Elektroden, da die Größe des Effektes sich, wie die Ergebnisse des vorigen Kapitels zeigten, erheblich mit veränderter Schichtdicke änderten.

Fig. 6 zeigt die Spektralverteilung der Photoströme der Versuchszelle Nr. 37 in Abhängigkeit von der Dicke des Kupferoxyduls. Der

kurzwellige Kurvenverlauf von $\lambda = 406\,\mathrm{m}\mu$ an ist außerdem noch mit 40fachem Ordinatenmaßstab aufgetragen. Die aufgestäubte Silberabnahmeelektrode ist gerade noch dünn genug, um das Durchlässigkeitsmaximum dünner Silberschichten bei $\lambda = 320\,\mathrm{m}\mu$ im spektralen Verlauf des Photostromes erkennen zu lassen. Klarer als diese Kurven zeigen die in Fig. 7 und 8 — letztere wieder mit 40fachem Ordinatenmaßstab — eingetragenen Kurvenzüge den Einfluß der Oxydulschichtdicke auf die Größe des Photostromes. Hier sind die Photoströme als Funktion der Oxydulschichtdicke aufgetragen, der Parameter der Kurven ist die Wellenlänge. Der langwellige Teil der Kurven zeigt ein eindeutiges Maximum des Photostromes für Schichtdicken, die ziemlich dicht bei einem Zehntel Millimeter liegen. Dieses

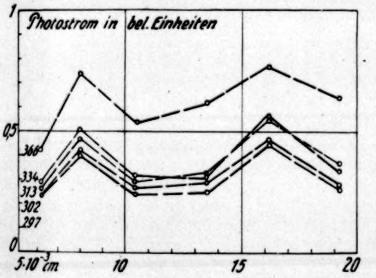


Fig. 8.

Maximum ist bis $\lambda = 406\,\mathrm{m}\mu$ (Fig. 7) gut erkennbar, tritt dagegen im ultravioletten Spektralbereich (Fig. 8) nicht mehr auf. Der Photostrom bleibt hier, von einer gewissen Streuung der Werte abgesehen, konstant.

Für praktische Meßzwecke ist es aus diesen Gründen empfehlenswert, Zellen zu verwenden, deren Oxydulschichtdicke etwa $^1/_{10}$ mm beträgt. Unter konstanten Herstellungsbedingungen ist diese Schichtdicke gut reproduzierbar. Werden auch die Abnahmeelektroden und die Stromanschlüsse einander gleich hergestellt, so unterscheiden sich die Photoströme solcher Zellen, wie an zehn unter den gleichen Bedingungen hergestellten Photozellen nachgewiesen werden konnte, nur um geringfügige Beträge.

V. Einfluß der Temperatur.

Die Abhängigkeit des Photostromes von der Temperatur ist von H. Teichmann, B. Lange, I. Kurtschatow und C. Sinelnikow (23—25) untersucht worden. Sämtliche Autoren verwandten nur ein Material für die Abnahmeelektrode, sie erhielten bei ihren Versuchen eine Abnahme des Photostromes mit steigender Temperatur. Es war nun von großem Interesse, zu untersuchen, ob dieser negative Temperaturkoeffizient des Photoeffektes der Kupferoxydulzellen eine Oxydulkonstante ist und allgemeine Gültigkeit besitzt. Zu diesem Zweck wurden Zellen mit den schon oben angegebenen Elektrodenmetallen (Platin, Gold, Silber und Nickel) im Temperaturintervall von $+10°$ bis $+80°$ C untersucht. Es wurden die Zellen verwendet, deren Spektralverteilung bereits gemessen worden war.

Benutzt wurde die im folgenden beschriebene Versuchsanordnung. Ein doppelwandiges Gefäß mit zylindrischem Querschnitt war an seiner Oberseite mit einer kreisrunden Öffnung versehen, durch die die auf dem Schlitten wärmeisoliert ruhende Zelle bestrahlt werden konnte. Zwei Durchführungen in den abnehmbaren Seitenwänden dienten zur Durchführung des Thermometers und der Zuleitungsdrähte zum Spiegelgalvanometer. Zur Erwärmung des Versuchsgefäßes wurde Wasser verwendet, das von einem Thermostaten mit Hilfe einer Umlaufpumpe durch die Anordnung getrieben werden konnte. Als Lichtquelle diente eine 8-Volt-Wolframglühlampe, die aus einer großen Akkumulatorenbatterie von 540 Ampèrestunden Kapazität gespeist und mit Hilfe eines Regulierwiderstandes und eines Präzisionsampèremeters unter sehr konstanten Bedingungen gebrannt werden konnte. Um eine zusätzliche Erwärmung der Oxydulzelle durch Bestrahlung zu vermeiden, wurden die Wärmestrahlen der Lichtquelle durch eine mit destilliertem Wasser 3 cm hoch (Fig. 9) gefüllte Küvette aus dem Strahlengang ausgefiltert.

Die Anordnung gestattete, die in der Untersuchungskammer befindliche Kupferoxydulzelle in einem Temperaturbereich zwischen $+10°$ und $+85°$ C lichtelektrisch zu untersuchen.

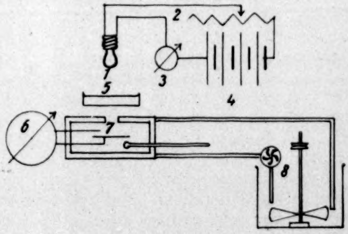


Fig. 9. Zur Temperaturuntersuchung.
1 = Lichtquelle, *2* = Widerstand, *3* = Ampèremeter, *4* = Akkumulator, *5* = Filterküvette, *6* = Spiegelgalvanometer, *7* = Photozelle, *8* = Thermostat.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in den Figuren 10–13 wiedergegeben.

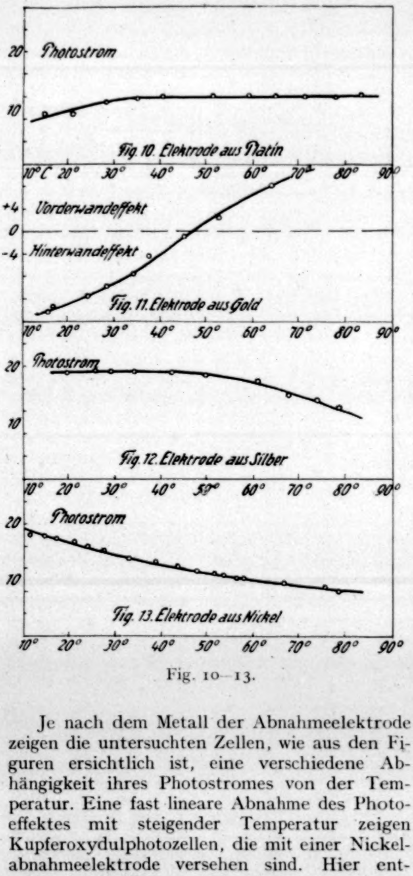


Fig. 10–13.

Je nach dem Metall der Abnahmeelektrode zeigen die untersuchten Zellen, wie aus den Figuren ersichtlich ist, eine verschiedene Abhängigkeit ihres Photostromes von der Temperatur. Eine fast lineare Abnahme des Photoeffektes mit steigender Temperatur zeigen Kupferoxydulphotozellen, die mit einer Nickelabnahmeelektrode versehen sind. Hier entspricht der Temperaturkoeffizient qualitativ dem von anderen Autoren erhaltenen, die Abnahme des Photostromes beträgt etwa 1 Proz. pro Grad, bezogen auf den Strom bei Zimmertemperatur.

Einen ähnlichen Verlauf weist der Photostrom bei Oxydulzellen mit Silberelektroden auf. Oberhalb von 45° C besitzen solche Zellen ebenfalls einen negativen Temperaturkoeffizienten; im Temperaturbereich von etwa 15° bis 45° C ist die Größe des Photoeffektes temperaturunabhängig.

Eine besondere Stellung nehmen die mit Gold bestäubten Zellen ein. Untersucht wurde eine Zelle, deren lichtelektrisch ausgelöster Elektronenstrom bei Zimmertemperatur vom Mutterkupfer zur Abnahmeelektrode floß (Hinterwandeffekt). Der Temperaturkoeffizient war hier derart stark negativ, daß der Photostrom bei etwa 47° C verschwand und bei höheren Temperaturen in der entgegengesetzten Richtung floß.

Kupferoxydulphotozellen mit Abnahmeelektroden aus Platin zeigen bis zu etwa 40° C eine Zunahme ihres Photostromes mit steigender Temperatur. Oberhalb 40° C ist der Photoeffekt temperaturunabhängig.

Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse lassen sich für praktische Meßzwecke folgende Richtlinien aufstellen.

Sollen Lichtintensitäten gemessen werden, bei denen keine Temperaturkonstanz der Zelle während der Messung gewährleistet ist, so sind Zellen mit Abnahmeelektroden aus Nickel bzw. Gold dafür nicht geeignet. Bei Temperaturen unterhalb von 45° C müssen in solchen Fällen Photozellen mit Abnahmeelektroden aus Silber benutzt werden, die auch wegen ihrer besonders großen Photostromausbeute am vorteilhaftesten sind (vgl. S. 751). Liegt die Temperatur der Zelle während der Messung dauernd über 40° C, so müssen mit Platin bestäubte Zellen herangezogen werden, die bis zu 85° C einen völlig temperaturunabhängigen Photostrom liefern. Der auf gleiche auffallende Lichtintensität bezogene Photostrom beträgt zwar nur ein Drittel des Stromes einer analogen silberbestäubten Oxydulzelle (vgl. S. 751), doch besitzen Zellen mit Abnahmeelektroden aus Platin den Vorzug der größeren Haltbarkeit. Bei silberbestäubten Zellen müssen dagegen besondere Maßnahmen zum Schutze der Abnahmeelektrode getroffen werden.

Für die theoretische Deutung des Photoeffektes der Kupferoxydulphotozellen erscheinen auch hier wieder die Ergebnisse am aufschlußreichsten zu sein, die an den mit Abnahmeelektroden aus Gold versehenen Oxydulzellen gefunden wurden. Die Richtungsumkehr des Photostromes dieser Zellen bei zunehmender Temperatur läßt sich in Zusammenhang bringen mit den Ergebnissen von I. Königsberger und O. Reichenheim (26), die diese aus Leitfähigkeitsmessungen an Halbleitern erhielten. Sie konnten die Widerstandsänderung, die feste einheitliche Substanzen bei Veränderung der Temperatur erleiden, ganz allgemein darstellen durch die Formel

$$W = W_0(1 + at + bt^2)e^{\frac{q}{t}},$$

wobei der Klammerausdruck die Änderung infolge Beeinflussung der Elektronenbeweglichkeit, der dritte Faktor die durch die Elektronenvermehrung darstellt. Diese Elektronenvermehrung im Halbleiter könnte nun nach F. Krüger [(16) S. 133, Fußnote 1] ein Undurchsichtigwerden des Kupferoxyduls hervorrufen, was O. von Auwers (16) auch tatsächlich bei 56° C beobachtet hat. Dieses Undurchsichtigwerden muß nun nach den bisher gefundenen Ergebnissen sowie nach der Demberschen Annahme von der Mitwirkung des Lichtdruckes auf die beim sogenannten „Hinterwandeffekt" in Lichtrichtung wandernden Elektronen die Ausbildung dieses Hinterwandeffektes verhindern, ohne dabei den Vorderwandeffekt beeinträchtigen zu dürfen (vgl. Fig. 11).

Es zeigt sich also, daß der Photoeffekt der Kupferoxydulzellen vor allem was die Richtung der Elektronenwanderung angeht, auch hier wieder wesentlich abhängt von den optischen Eigenschaften des Oxyduls; deren Veränderung mit zunehmender Temperatur kann bis zur völligen Umkehr der Richtung des Photostromes führen.

VI. Schluß.

Sollen Kupferoxydulphotozellen als Lichtmeßgeräte verwendet werden, so müssen auf Grund der in dieser Arbeit gefundenen Ergebnisse hierbei folgende Eigenschaften der Zellen beachtet werden.

Die Stromausbeute der Kupferoxydulzellen ist in hohem Maße abhängig von der Dicke sowohl der Kupferoxydulschicht als auch der aufgestäubten Abnahmeelektrode. Als besonders günstig erwies sich die Verwendung von Abnahmeelektroden aus Silber in einer Dicke von etwa 4 $m\mu$. Die chemische Unbeständigkeit der Silberelektroden konnte unschädlich gemacht werden durch einen Überzug der Elektrode aus Lack oder durch einen gasdichten Einschluß der Kupferoxydulphotozelle. Das Optimum der Oxydulschichtdicke für maximale Stromausbeute wurde zu $^1/_{10}$ mm bestimmt.

Kupferoxydulphotozellen, die nach dem oben angegebenen Verfahren hergestellt worden sind, sind, was die Größe ihrer auf gleiche Lichtintensität bezogenen Photoströme betrifft, weitgehend reproduzierbar.

Wie schon in der Einleitung angedeutet wurde, liefern die erhaltenen Ergebnisse auch für die theoretische Auffassung des Effektes gewisse Anhaltspunkte. So konnte gezeigt werden, daß die von K. Scharf und O. Weinbaum gefundene Strukturabhängigkeit der Richtung des Photostromes das Auftreten des Vorderwand- und Hinterwandeffektes an Kupferoxydulzellen nicht restlos erklärt. Auch die Schottkysche Sperrschichttheorie scheint die an Kupferoxydulphotozellen gefundenen Erscheinungen nicht vollkommen zu erfassen. Zur Erklärung des Vorderwand- und Hinterwandeffektes ist nach W. Schottky eine verschiedene Lage der Sperrschicht (vgl. S. 746) notwendig. Die an Zellen mit Goldelektroden gefundene Abhängigkeit der Stromrichtung von der Wellenlänge[1]) macht diese Auffassung unwahrscheinlich, da ein Zusammenhang zwischen der Wellenlänge des auffallenden Lichtes und der Wirkungsweise der Sperrschicht bisher erstens niemals behauptet, andererseits in höchstem Grade unwahrscheinlich ist. Vielmehr scheinen auf Grund der hier beschriebenen Ergebnisse für den Photoeffekt der Oxydulzellen in erster Linie die optischen Eigenschaften des Kupferoxyduls maßgeblich zu sein, worauf auch die von H. Dember gefundenen Ergebnisse hindeuten. Licht aus Spektralbereichen, für das das Kupferoxydul undurchsichtig ist ($\lambda < 600\ m\mu$), erzeugt „Vorderwandeffekt", während weniger absorbierbares Licht ($\lambda > 600\ m\mu$) unter Umständen das Auftreten der umgekehrten Photostromrichtung, des „Hinterwandeffektes", zur Folge hat.

VII. Zusammenfassung.

1. Es werden die bei Verwendung von Kupferoxydulphotozellen für praktische Meßzwecke zu beachtenden Faktoren (spektrale Empfindlichkeit, maximaler Wirkungsfaktor und Abhängigkeit von der Temperatur) erörtert und untersucht.
2. Die Art des Metalles der Abnahmeelektrode hat keinen Einfluß auf die Lage des selektiven Maximums des Effektes.
3. An goldbestäubten Zellen wird festgestellt, daß die Richtung des Photostromes von der Wellenlänge des auffallenden Lichtes abhängig ist.
4. Die günstigste Schichtdicke des Kupferoxyduls für eine optimale Stromausbeute wird für alle Wellenlängen des sichtbaren Spektralgebietes zu 0,1 mm bestimmt.
5. Durch verschiedene Wahl des Elektrodenmetalles ist es möglich, die Photostromtemperaturcharakteristik des Effektes willkürlich zu beeinflussen. Es ist möglich, völlige Temperaturunabhängigkeit des Photostromes in einem weiten Temperaturbereich zu erzielen.

---

1) Dieses Ergebnis wurde, wie uns nach Abschluß dieser Arbeit bekannt wurde, von T. Yamada (27) bestätigt.

Die vorliegende Arbeit wurde im Institut für Strahlenforschung der Universität Berlin ausgeführt. Herrn Prof. Dr. W. Friedrich bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für das ständige freundliche Interesse bei der Durchführung zu großem Dank verpflichtet. Herrn Dr. H. Schreiber habe ich ebenfalls für Hilfe und Ratschläge zu danken.

Literaturverzeichnis.

1) Britisches Patent 277610.
2) H. Simon u. R. Suhrmann, Lichtelektrische Zellen, J. Springer, Berlin, S. 53.
3) E. Duhme u. W. Schottky, Naturw. **18**, 735, 1930.
4) O. von Auwers u. A. Kerschbaum, Ann. **7**, 129, 1930.
5) W. Schottky, Zeitschr. f. techn. Phys. **11**, 458, 1930.
6) W. Schottky, Physik. Zeitschr. **31**, 913, 1930.
7) B. Lange, Physik. Zeitschr. **31**, 139, 1930.
8) B. Lange, Physik. Zeitschr. **31**, 964, 1930.
9) H. Dember, Physik. Zeitschr. **32**, 554, 1931.
10) H. Dember, Physik. Zeitschr. **32**, 856, 1931.
11) H. Dember, Physik. Zeitschr. **33**, 207, 1932.
12) E. Perucca u. R. Deaglio, Zeitschr. f. Phys. **72**, 102, 1931.
13) E. Perucca, Physik. Zeitschr. **32**, 890, 1931.
14) K. Scharf u. O. Weinbaum, Physik. Zeitschr. **33**, 336, 1932.
15) W. Bulian u. H. Schreiber, Naturw. **20**, 506, 1932.
16) O. von Auwers, Naturw. **19**, 133, 1931.
17) R. Fleischer u. H. Teichmann, Die lichtelektrische Zelle, Verlag Steinkopff, Dresden, S. 147.
18) DRP. 506071.
19) W. Friedrich u. H. Schreiber, Ergebnisse der med. Strahlenforschung, Bd. V, Leipzig 1932.
20) R. Vieweg, Ann. **74**, 146, 1924.
21) J. Kluge, Ann. **82**, 432, 1927.
22) W. Bennewitz, Ann. **83**, 913, 1927.
23) H. Teichmann, Zeitschr. f. Phys. **65**, 183, 1930, und **67**, 192, 1930.
24) B. Lange, Physik. Zeitschr. **32**, 890, 1931.
25) I. Kurtschatow u. C. Sinelnikow, Physik. Zeitschr. d. Sowjetunion **1**, 23, 1932.
26) J. Koenigsberger u. O. Reichenheim, Physik. Zeitschr. **7**, 570, 1906.
27) T. Yamada, Acta Scholae med. Univ. imp. Kioto **14**, 374, 1932; ref. Chem. Zentralbl. **1**, 1247, 1933.

Berlin, Institut für Strahlenforschung der Universität, Februar 1933.

(Eingegangen 28. Juli 1933.)

Über den Einfluß der Anode auf die Stabilität des homogenen Säulenplasmas in Argon.

Von W. Pupp

(Physikalisches Institut der Technischen Hochschule Berlin).

1. Die Bedeutung des Anodenfalls für eine Entladung mit positiver Säule.

Die Vorgänge an der Anode einer Entladung mit positiver Säule sind im wesentlichen durch die Vorgänge in der Säule selber oder jedenfalls ihres anodischen Endes bestimmt. Nach der bisherigen allgemeinen Auffassung (1) nimmt der Anodenfall einen solchen Wert an, daß die den Entladungsstrom zum überwiegenden Teil ausmachenden Elektronen aus dem Plasma der Säule auf die Anode hingezogen werden. Diese Auffassung führte aber schon bei der Deutung eines von Langmuir (2) beobachteten „negativen" Anodenfalls zu Widersprüchen, die nach I. von Issendorf (3) nur unter der Annahme zu lösen waren, daß man in der Nähe der Anode eine Ionenquelle voraussetzte. Das wurde aber für den betrachteten Fall als unwahrscheinlich bezeichnet, die Beobachtung eines negativen Anodenfalls vielmehr durch grundsätzliche Fehler in der Potentialbestimmung durch Sonden gedeutet.

Im Verlauf von Untersuchungen der Vorgänge an der Anode zwecks Aufklärung des Mechanismus der als Störung empfundenen Anodenschwingungen (4) kam Verfasser zu einer vom Bisherigen vollkommen abweichenden Auffassung der Rolle der Anode für den Trägerhaushalt der positiven Säule. Hiernach dient der Anodenfall in erster Linie der Erzeugung von Ionen an der Anode, und zwar in einer Menge, wie sie zur Erhaltung des Plasmas der Säule am anodischen Ende notwendig ist.

Die nun folgenden Untersuchungen werden zeigen, wie von der in diesem Falle künstlichen Ionenerzeugung in der Nähe der Anode der Betrag des Anodenfalls abhängt und bei starker Ionenlieferung auch negativ werden kann. Darauf aufbauend werden die Vorgänge bei schwingendem Anodenfall ihre Erklärung finden. Weiter wird gezeigt, daß die homogene positive Säule in Argon auf eine Störung durch die Anode in einer Weise reagiert, die eine gewisse Stabilität des Plasmas vermuten läßt. Verschiedener Grad der Stabilität in homogenen Säulen von reinem Quecksilberdampf und von Argon wird dann in einem besonderen Störungsversuch veranschaulicht.

2. Experimenteller Nachweis der Abhängigkeit des Anodenfalls von der Ergiebigkeit einer nahen Ionenquelle.

Die folgenden Versuche zeigen die Möglichkeit, mit einem Niedervoltbogen als Ionenquelle in einem Entladungsrohr mit vorgegebener homogener positiver Säule den Anodenfall beliebig positiv oder negativ zu machen. Die Ergiebigkeit läßt sich in einfachster Weise durch die Stromstärke des Niedervoltbogens regeln. Ein Entladungsrohr dieser Art ist in Fig. 1 dargestellt. Zwischen Glühkathode K und Anode A geht die Hauptentladung mit positiver Säule über. Zwischen K' und A brennt eine Entladung ohne positive Säule bei größerer Stromstärke (etwa 1 Amp.) mit einer Brennspannung unterhalb der Ionisierungsspannung, ja sogar der niedrigsten Anregungsspannung. Die hier mitgeteilten Messungen wurden in Argon von 1 mm Quecksilberdruck bei $I = 3$ Amp. in der Säule und $I' = 1$ Amp. bzw. 0,1 Amp. in der Nebenentladung gemacht. Rohrweite war 4,7 cm, Abstand K bis A 57 cm. Das Raumpotential wurde nach der bekannten Langmuirschen Methode mit ungeheizter Sonde gemessen. Die Sonde bestand aus einem 0,1 mm dicken Wolframdraht, der aus einem dünnen Quarzröhrchen etwa 1 mm weit herausragte. Das Röhrchen war in der aus Fig. 1 ersichtlichen Weise umgebogen und konnte längs der Rohrachse durch einen besonderen Mechanismus über eine große Strecke verschoben werden. Für eine Anzahl Punkte der Rohrachse wurde aus der Lage des Knickes in der Stromspannungscharakteristik (in halblogarithmischer Darstellung) das Raumpotential bestimmt.

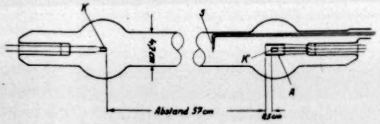


Fig. 1. Entladungsrohr.

Die gegenseitige Abhängigkeit der beiden einander berührenden Entladungen zeigt sich schon rein äußerlich in den Entladungsbrennspannungen. $I' = 1$ Amp.: $U' = 10{,}5$ Volt und $U = 24{,}7$ Volt bzw. $I' = 0{,}1$ Amp.: $U' = 17$ Volt und $U = 28{,}8$ Volt. Je niedriger die Spannung am Niedervoltbogen U', um so niedriger die Spannung an der Hauptentladung U. Betrachten wir den Potentialverlauf der Hauptentladung in beiden Fällen nach Fig. 2. Die dargestellten Kurven sind durch Meßpunkte bis auf 0,5 cm an die Elektroden belegt. Die Potentialdifferenz der Anode gegen die Stelle davor, die durch eine starke Abbiegung der Potentialkurve ausgezeichnet ist, sei wie gewöhnlich Anodenfall genannt. Der geradlinige Verlauf des Säulenpotentials ist aber noch beträchtlich weiter gestört: bei $I' = 1$ Amp. etwa 3 cm und bei $I' = 0{,}1$ Amp. etwa 10 cm. Bei Ionenüberfluß reicht die Störung also weniger weit als bei Mangel. Überfluß und Mangel an Ionen kann man aus dem Drehsinn der Krümmungen der Potentialkurve ablesen. Mit Ionenmangel ist ein Anodenfall von rund 3,2 Volt, mit Ionenüberschuß ein „negativer" Anodenfall von $-3{,}1$ Volt verbunden. Der Anodenfall 0 wurde auch beobachtet, die zugehörige Potentialkurve aber nicht eingezeichnet, um das Bild nicht zu überladen. Stärker negative Anodenfälle wurden gelegentlich auch beobachtet. Bei höherer Spannung U' als rund 17 Volt setzten Anodenschwingungen ein. Weitere Einzelheiten des Potentialverlaufs werden an einer späteren Stelle besprochen werden[1]).

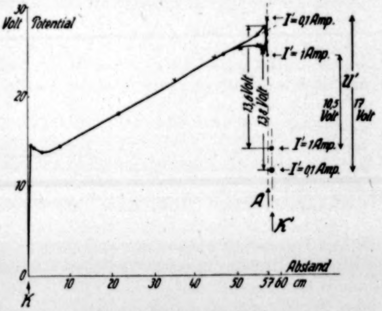


Fig. 2. Potentialverlauf.

1) Nach den Vorstellungen, wie sie Compton und Eckart (Phys. Rev. **25**, 139, 1925) für den Mechanismus der Ionenerzeugung in einem schwingungsfreien Niedervoltbogen entwickelt haben, muß den von der Kathode ausgehenden Elektronen ein Potentialabfall zur Verfügung stehen, der zur erstmaligen direkten Anregung ausreicht. In einer Entladung, deren Elektroden eine geringere Potentialdifferenz als die kleinste Anregungsspannung aufweisen, muß es demnach vor der Anode ein Gebiet geben, dessen Potential höher als das der Anode selber ist. Die Genannten sowie Druyvesteyn (Zeitschr. f. Phys. **64**, 781–789, 1930) haben durch direkte Sondenmessungen die Richtigkeit dieser Auffassung experimentell nachgewiesen. Diese Potentialschwelle tritt hier in Fig. 2 bei der Kurve für $I' = 1$ Amp. deutlich in Erscheinung. Der betrachtete Raumpunkt gehört beiden Entladungen an — es ist der letzte Meßpunkt vor der Anode — und ist durch die Potentialbestimmungen in der Säule weitgehend unterstützt. Es zeigt sich eine gewisse Unveränderlichkeit der Potentialdifferenz zwischen K' und der Schwelle (13,6 bzw.

Die obigen Ausführungen lassen sich in einfachster Weise durch Beobachtung der Helligkeitsverteilung des anodischen Säulenendes bestätigen. Bis zum gewissen Grade ist die Helligkeit ein Maß für die Ionendichte, die ihrerseits vorzugsweise den Gang der Raumladung bestimmt. Bei positivem Anodenfall nimmt die Helligkeit der Säule nach der Anode zu über eine Strecke von vielleicht 10 cm stark ab, während sie bei Ionenlieferung und negativem Anodenfall bis dicht heran unvermindert sich erhält. Weiterhin zeigt eine Beobachtung der Anodenerhitzung anschaulich die Veränderung des Anodenfalls mit der Brennspannung des Niedervoltbogens.

3. Über den Mechanismus der Anodenschwingungen.

Machen wir zunächst folgendes Gedankenexperiment: Die Hilfskathode, die bis dahin den Ionenbedarf der Säule gerade gedeckt haben soll, so daß der Anodenfall gerade Null war, werde plötzlich abgeschaltet. Unter dem Einfluß des zunächst konstanten Längsfeldes wandern die Ionen von der Anode fort. Vor der Anode liegt ein Gebiet, das an positiver Raumladung verarmt. Ein Anodenfall entsteht, in welchem die Elektronen so weit beschleunigt werden, daß sie kurz vor der Anode Ionen bilden können. Das dabei erscheinende Anodenglimmlicht dient nunmehr als Ionenquelle. Damit müßte ein neuer Gleichgewichtszustand erreicht sein[1]).

In dem nunmehr zu betrachtenden tatsächlichen Fall einer Edelgasentladung wird diese Gleichgewichtslage dadurch überschritten, daß zuviel Ionen auf einmal gebildet werden. Über das Wie läßt sich im Augenblick nichts Näheres sagen. Die Ionen decken die Raumladung des Anodenfalls zu, und damit sind wir am Anfangspunkt unseres Gedankenexperimentes ungefähr wieder angekommen. Das Spiel wiederholt sich periodisch[1]).

Die Verfolgung tatsächlicher Anodenschwingungen wird dadurch erschwert, daß meist mehrere Ansatzstellen der Entladung an der Anode auftreten, die aber abwechselnd tätig sind, wie Takamine, Suga und Yanagihara (5) schon gezeigt haben. Die Entladung, die dem Oszillogramm der Fig. 3 zugrunde liegt, zeigt zwei abwechselnd tätige Anodenflecke. In etwa 10 cm Abstand von der Anode ist die Säule vollkommen ungestört, wie die Beobachtung mit dem Drehspiegel oder besser mit der Photozelle und Oszillograph zeigt[2]). Der wellenartig sich abspielende Vorgang der Ionenerzeugung und Ionenabwanderung ist danach auf den Raum unmittelbar vor der Anode beschränkt. Nach dem Oszillogramm der Fig. 3 steigt bei konstantem Strom die Anodenspannung während des Abwanderns langsam an, um plötzlich infolge starker Trägererzeugung zusammenzubrechen. Die Spannungsspitze ist bei beiden Anodenflecken gleich hoch. Ebenso der Verlauf des Abfalles, da für ihn nur die Verhältnisse unmittelbar an der Ansatzstelle maßgebend sind. Wegen des verschiedenen Abwanderungsweges

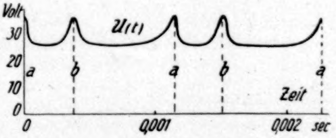


Fig. 3.
Spannung zwischen K und A (K' ist stromlos).

13,8 Volt), wenn die Brennspannung U' (von 10,5 auf 17 Volt) geändert wird. Von dieser Potentialdifferenz, die über der niedrigsten Anregungsspannung von Argon (11,6 Volt) liegt, hängt die Existenz des Niedervoltbogens ab. Übrigens wurden Punkte höheren Potentials in der Nähe der Anode in dem dargestellten Versuch nicht beobachtet.

1) Ohne das Vorhandensein einer Hilfskathode ist die Ausbildung eines Anodenfalls in der beschriebenen Weise nicht oder nur zum Teil notwendig, wenn die Anode imstande ist, an ihrer Oberfläche von sich aus Ionen abzugeben. Dieser Fall scheint bei einer Entladung mit positiver Säule in Zäsium vorzuliegen, wo im Gegensatz zu anderen Entladungen (wie z. B. in Quecksilberdampf) Anodenschwingungen nicht gefunden wurden. Nach Langmuir (Journ. Am. Chem. Soc. **54**, 1252, 1932) kann Zäsium an Wolfram ionisiert werden, weil die Austrittsarbeit größer ist als die Ionisierungsarbeit. Dazu darf die Wolframoberfläche nur schwach mit Zäsiumatomen besetzt sein, was bei Glühtemperatur der Fall ist.

1) Es ist möglich, daß eine in das Plasma tauchende, als Meßsonde benutzte kleine Elektrode bei stark positiven Potentialen die gleichen Erscheinungen zeigt wie eine Anode. Es entstehen Schwingungen, die ebenfalls durch die Nachbarschaft der Hilfskathode unterdrückt werden können. Dünne Drahtsonden halten die dabei auftretenden thermischen Belastungen nur kurzzeitig aus. Sehr schön konnte Verfasser solche anodischen Schwingungen der Sonde gelegentlich oszillographischer Sondenmessungen an laufenden Schichten in Argon beobachten.

2) Von einer Wiedergabe von stroboskopischen oder Drehspiegelbildern kann man hier absehen, da die Anodenschwingungen am Ende einer homogenen Säule keine anderen sichtbaren Erscheinungen bedingen, als sie bei einer Säule mit laufenden Schichten auf Bildern von Samson (Zeitschr. f. techn. Phys. **6**, 281, 1925) oder Takamine, Suga und Yanagihara (l. c.) zu sehen sind. Über Photozellenbeobachtung vgl. oben genannte Arbeit des Verfassers.

der gebildeten Ionen ist aber der Verlauf des Spannungsanstieges bei beiden Entladungszweigen verschieden. Die Spannungsschwankung im vorliegenden Fall beträgt etwa 12 Volt. Diese Größe ist von Gasdruck, Rohrweite und Stromstärke sowie der Anzahl der Anodenflecken ziemlich unabhängig. Die zeitliche Folge der einzelnen Ionisierungsstöße dagegen kann selbst bei festen Werten der eben genannten Parameter sehr verschieden sein, sie läßt sich z. B. durch Magnetfelder weitgehend verändern. Die unter Ziffer (5) Genannten untersuchen diese Erscheinungen, allerdings ohne sie erschöpfend zu deuten. Nach obigen Vorstellungen kommt es auf die Wege an, die die Ladungsträger im Raum vor der Anode nehmen. Sind mehrere diskrete Ansatzpunkte an der Anode vorhanden, so läßt sich die zeitliche Folge durch ein mehr oder weniger zusammengesetztes Frequenzgemisch beschreiben. Es ist auch möglich, daß die zeitliche Folge ganz unregelmäßig ist. In allen Fällen ist aber die Spannungsamplitude gleich hoch. Es ist weiterhin verständlich, daß irgendwelche unbeabsichtigten Frequenzeigenschaften der äußeren Schaltelemente des Entladungsstromkreises eine oder die andere der möglichen Frequenzen bevorzugen. Bei Vorhandensein mehrerer Ansatzpunkte ist die zeitliche Folge für solche Einflüsse sehr empfindlich. Wenn nur ein Anodenfleck vorhanden ist, werden die Frequenzverhältnisse übersichtlicher. Bei Verminderung des Gasdruckes erhöht sich die Frequenz. Die Ionen wandern schneller ab. Unter dem gleichen Gesichtspunkt ist der Frequenzgang bei den verschiedenen Edelgasen verständlich: Argon zeigt die kleinste, Neon eine höhere und Helium die höchste Frequenz. Quecksilber fügt sich nicht in diese Reihe ein, die Vorgänge erfolgen wohl nach einem etwas anderen Mechanismus als bei den Edelgasen. In allen bisher beobachteten Fällen bedingt höherer Strom auch höhere Frequenz, da die Ionen schneller verbraucht werden. Wegen der großen Abhängigkeit der Frequenz auch von der geometrischen Anordnung der Anode im Entladungsraum und von zufälliger Oberflächenbeschaffenheit lohnt sich eine Wiedergabe dahingehender Beobachtungen wohl kaum.

In Fig. 4 ist noch ein Beispiel einer Anodenschwingung durch den zeitlichen Verlauf der Entladungsspannung und der Helligkeit in der positiven Säule dargestellt. Es ist dasselbe Rohr wie bei Fig. 3 beim gleichen Druck und gleichem Batteriestrom von 4 Amp., während der Entladungsstrom im Rohr infolge Parallelschaltung eines Kondensators von 26 μF direkt an Anode und Kathode um einen Betrag schwankt, der aus der Spannungsschwankung einfach zu berechnen ist. Man ersieht, daß eine Spannungsschwankung von 16 Volt durch die Entladung erzwungen wird, wovon der Schwankung des Gradienten in der positiven Säule infolge der Stromschwankung ein Teilbetrag zuzuschreiben ist. Auf die Amplitude des Anodenfalles entfällt schätzungsweise derselbe Betrag wie bei Fig. 3. Infolge der Kondensatorentladung ist die Ionenbildung bei erhöhter Stromstärke so groß, daß der Ionenvorrat länger reicht, zumal inzwischen der Ionenbedarf mit fallender Stromstärke in der Säule abnimmt. Die Frequenz wird erniedrigt. Der Anodenfleck ist entsprechend ausgedehnter als bei Aufteilung in mehrere schneller nacheinander folgende Einzelstöße. Infolge der Stromschwankungen zeigt die Säule in ihrer ganzen Länge gleichzeitig den in der gestrichelten Kurve

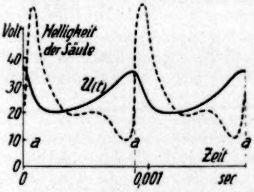


Fig. 4. Spannung zwischen K und A und Helligkeit der Säule (K' ist stromlos).

gezeigten Helligkeitsverlauf. Man sieht, daß diese mit einer Photozelle aufgenommene Kurve im wesentlichen die Ableitung der Spannungskurve des Rohres und damit des Kondensators darstellt. Der Zusammenhang ist leicht ersichtlich.

4. Der Gleichgewichtszustand des Säulenplasmas und seine Störung durch die Anode.

Für das Gleichgewicht von einander entgegengerichteten Wirkungen ist es wesentlich, welche der die Vorgänge beschreibenden Parameter als frei veränderlich betrachtet werden. Liegt eine stabile Gleichgewichtslage vor, so wird sie nach einer Störung für die Dauer erreicht, wenn der Übergang aus der Nachbarlage in die Gleichgewichtslage gedämpft erfolgt. Es entsteht ein stabiler Zustand.

Als Plasma schlechthin bezeichnet man bekanntlich ein neutrales oder wenigstens quasineutrales Gemisch von positiven Ionen, Elektronen, angeregten und unangeregten neutralen Atomen. Raumladungsüberschüsse sollen also nur klein sein. Bei der homogenen positiven Säule kann man sicher von einem Plasma in diesem Sinne reden. Charakteristisch dafür ist

bei konstant gehaltenem Strom ein für alle Querschnitte eines zylindrischen Rohres eindeutig zugeordneter, d. h. konstanter elektrischer Längsgradient. Er stellt sich bekanntlich so ein, daß die bei der Trägererzeugung benötigten Energiemengen zuzüglich der dabei auftretenden Verluste durch Strahlung und Wärmeableitung aus der Bewegung der Träger im Längsfelde gewonnen werden. In der zylindrischen homogenen Säule sind alle Querschnitte gleichartig. Betrachten wir einen Säulenabschnitt zwischen zwei beliebig benachbarten Querschnitten, so finden wir Gleichheit zwischen Ionenerzeugung und Ionenvernichtung sowie Trägereinwanderung durch den einen Querschnitt und Trägerabwanderung durch den benachbarten. Die gesamte in einem Säulenabschnitt enthaltene Ladung ergänzt sich zu Null. Trotzdem ist die Neutralität nicht vollkommen, da von der Rohrachse zur Wand ein Querfeld besteht. Die für den Verlauf des Quergradienten erforderlichen Ladungsüberschüsse sind aber verhältnismäßig klein, so daß man von einer Quasineutralität des Säulenplasmas sprechen kann.

Bei Säulen mit stehenden oder laufenden Schichten besteht ein Gleichgewichtszustand des Plasmas nicht. Der Längsgradient und somit die Raumladungsüberschüsse erfahren Schwankungen, die den Mittelwert um ein Vielfaches seines eigenen Betrages übertreffen können. Man ist mit Recht im Zweifel, ob man dann überhaupt von einem Plasma im obigen Sinne reden darf. Jedenfalls ist es nicht mehr neutral oder quasineutral, sondern kann vielleicht als polarisiertes Plasma bezeichnet werden. Das Auftreten eines solchen ohne äußere Störeinflüsse wird man einer Instabilität des Plasmas zuschreiben müssen. Das Auftreten von laufenden Schichten hat jedenfalls mit der Störwirkung der Anode nichts zu tun. Die Natur der Instabilität ist bei stehenden und bei laufenden Schichten verschieden und bis jetzt nicht bekannt.

Ein polarisiertes Plasma liegt auch in der Nähe von positiven Sonden bzw. der Anode vor. Die Polarisierung hängt ganz von der Trägeraufnahme und -abgabe der Elektrode ab, wie wir bei obigen Versuchen mit künstlicher Ionenquelle gesehen haben. Von der Störstelle ausgehend, strebt das Plasma aus dem polarisierten, gestörten Zustand zum quasineutralen Gleichgewichtszustand hin. Die Potentialkurven der Fig. 2 zeigen dazu noch eine interessante Einzelheit. Auf die scharfe Krümmung in Anodennähe folgt eine sanftere mit entgegengesetztem Drehsinn. Die Raumladung wechselt also einmal die Polarität, ehe die Quasineutralität endgültig erreicht wird. Ein Überschuß an positiven Trägern wird dabei über eine kürzere Strecke (3 cm) ausgeglichen als eine negative (10 cm). Erfolgt die Ionenlieferung der Anode nicht kontinuierlich, sondern stoßweise (Anodenschwingungen), so erfolgt auch in diesem Falle, wie ein Drehspiegel zeigt, der Übergang aus dem polarisierten Gebiet in das quasineutrale über die gleiche Strecke von 10 cm. Als Ergebnis folgt, daß das homogene Plasma ein sehr stabiles Gebilde ist, das seinen quasineutralen Zustand trotz starker Störung durch die Anode nach einer gewissen Strecke erreicht. In andern Fällen sind dazu andere, meist kleinere Strecken erforderlich. Diese Größe stellt bei konstant gehaltener Störung ein gewisses Maß für die Stabilität dar. Je größer die Stabilität, um so kleiner die Übergangsstrecke. Das verschiedenartige Verhalten verschiedener homogener Säulen einer Störung gegenüber zeigt sich besonders deutlich, wenn sie durch ein Rohr verlaufen, das eine schroffe Änderung des Querschnittes aufweist.

5. Anhang: Über den Helligkeitsverlauf an einer Querschnittsänderung der positiven Säule in Argon und in Quecksilberdampf.

Wie schon andernorts bemerkt, kann man von der bequem zu beobachtenden Leuchtdichte auf die Ionendichte schließen. Die hier interessierenden Raumladungsschwankungen finden in den Schwankungen der Leuchtdichte ein ziemlich getreues Abbild. Der Abschnitt der Säule, dessen Helligkeit gemessen werden sollte, wurde auf einen Spalt abgebildet, der senkrecht zur Rohrachse stand. Hinter dem Spalt befand sich eine Photozelle, deren Strom über einen Gleichstromverstärker an einem Milliamperemeter abgelesen werden konnte. Durch Verändern der Spaltweite wurde die Lichtmenge, die auf die Zelle fällt, immer auf den gleichen Betrag eingestellt. Die Spaltweite ist dann umgekehrt proportional der Helligkeit des beobachteten Querschnitts. Die Spaltweite muß klein sein gegenüber Inhomogenitäten der Säule in der Achsenrichtung. Die Spaltlänge war so groß, daß stets sämtliches Licht des ganzen Querschnitts auf die Photozelle fiel. Den Kurven in den Fig. 5 und 6 liegen Entladungen zugrunde, die durch Rohre gleicher Abmessungen gingen. Der Verlauf des Rohrradius ist eingezeichnet. Die Helligkeit am engen Rohrende ist willkürlich gleich 1 gesetzt. Die Gasdichte und die Stromstärke war in beiden Fällen von gleicher Größenordnung. Der Kurvenverlauf zeigt zunächst in beiden Fällen eine auffällige Abhängigkeit von der Stromrichtung. Die Lage der Anode (A) und Kathode (K) ist für jede Kurve durch Pfeile bezeichnet. Je nach der Stromrichtung muß ja zwecks Änderung der Säulengradienten an der

Übergangsstelle ein positiver oder negativer Raumladungsüberschuß vorhanden sein. Ein Unterschied in beiden Richtungen ist also zu erwarten. Darüber hinaus aber zeigt Quecksilberdampf (ohne Edelgas) einige wenig bemerkenswerte schwache Wellen. Das Plasma des Quecksilberdampfes scheint danach die neue

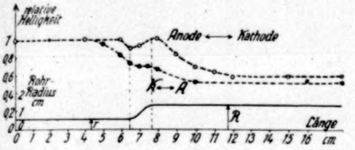


Fig. 5. Positive Säule in Quecksilber.

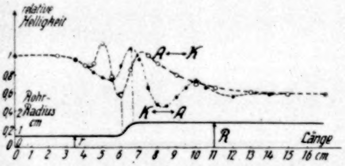


Fig. 6. Homogene positive Säule in Argon.

Gleichgewichtslage über eine kurze Strecke und in einfacher Weise zu erreichen. Auffällig dagegen sind die Helligkeitswellen in Argon. Danach muß man schließen, daß das Plasma aus dem polarisierten Zustand am Querschnittsübergang unter mehrmaligem Vorzeichenwechsel des Raumladungsüberschusses in die neue Gleichgewichtslage übergeht. Verfolgt man die Amplitude dieser örtlichen Helligkeitsschwankungen bei verschiedener Stromstärke der Säule, so zeigt sich mit steigender Stromstärke eine Abnahme. Weit oberhalb der Grenzstromstärke der laufenden Schichten sind die Schwankungen kaum noch von denen in Quecksilber verschieden. Andererseits wird mit fallender Stromstärke selbst nach Unterschreitung des Grenzstromes, also bei Vorhandensein von laufenden Schichten, die nunmehr zeitlich gemittelte Amplitude der örtlichen Helligkeitswelle immer stärker. Sie scheint ein von der Existenz des Grenzstromes unbeeinflußtes Maß für den Stabilitätsgrad zu sein.

Literaturverzeichnis.

1) M. Steenbeck, Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik IV, 3, 1933.
2) I. Langmuir, Zeitschr. f. Phys. **46**, 271, 1928.
3) I. von Issendorf, Zeitschr. f. Phys. **67**, 556, 1931.
4) W. Pupp, Physik. Zeitschr. **33**, 844–847, 1932.
5) T. Takamine, T. Suga u. A. Yanagihara, Sc. Pap. I. P. C. R. **20**, 63–69, 1933, und **21**, 26–33, 1933.

(Eingegangen 18. August 1933.)

Der optische Nachweis der Oberschwingungen eines Quarzkristalls nach der Methode von Debye und Sears und seine Anwendung zur Schallgeschwindigkeitsmessung in Flüssigkeiten.

Von L. Bergmann.

Vor einiger Zeit haben P. Debye und F. W. Sears[1]) im Anschluß an frühere theoretische Überlegungen von L. Brillouin[2]) gezeigt, daß eine Flüssigkeit, in der sich hochfrequente Schallwellen fortpflanzen, in ähnlicher Weise auf einen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Schalles hindurchgehenden Lichtstrahl wirkt wie ein gewöhnliches Beugungsgitter. An den durch die Flüssigkeit laufenden elastischen Kompressionswellen treten infolge der sich ergebenden optischen Inhomogenitäten Reflexionen im Braggschen Sinne auf, und man erhält bei der optischen Abbildung eines Spaltes durch die Flüssigkeitsschicht hindurch rechts und links neben dem zentralen Spaltbild Beugungsspektren verschiedener Ordnung. Der Abstand der Beugungsspektren vom Zentralbild ist um so größer, je kleiner die Schallwellenlänge in der Flüssigkeit ist, da die Schallwellenlänge die Bedeutung der Gitterkonstanten hat. Bestimmt man also diese und kennt man die Wellenlänge des benutzten Lichtes sowie die Frequenz der Schallwellen, so hat man eine sehr bequeme Methode zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten. Debye und Sears haben auf diese Weise die Schallgeschwindigkeit in Toluol und Tetrachlorkohlenstoff bestimmt und eine gute Übereinstimmung mit dem aus adiabatischer Kompressibilität und Dichte errechneten Wert gefunden. Die Genauigkeit einer solchen Messung hängt nun ab von der exakten Messung der Ablenkungswinkel der Beugungsspektren sowie von der genauen Festlegung der Schallwellenfrequenz. Letztere kann durch eine elektrische Wellenlängenmessung bestimmt werden, da als Schallgeber Piezoquarze benutzt werden. Je höher die Frequenz der Quarzschwingung ist, desto größer sind die Abstände der Beugungsbilder und desto genauer ist die Bestimmung der Ablenkungswinkel möglich. Anderseits ist es erwünscht, die Messungen bei verschiedenen Frequenzen unter sonst gleichen Bedingungen vorzunehmen. Das bedeutet zunächst die Verwendung verschiedener Schwingquarze, wodurch der Gang der Messung komplizierter wird. Die obere Grenze der mit Piezoquarzen erzeugbaren Frequenz liegt bei etwa $2 \cdot 10^7$ Schwingungen pro

1) P. Debye u. F. W. Sears, Proc. Nat. Acad. Sc. **18**, 409, 1932. Zur Theorie vgl. ferner: P. Debye, Physik. Zeitschr. **33**, 849, 1932.
2) L. Brillouin, Ann. de phys. **17**, 88, 1922.

Sekunde, für höhere Schwingungszahlen werden die Quarzplatten so dünn, daß ihre Haltbarkeit leidet. Es bleibt dann als Ausweg zur Erzeugung sehr hoher Schallfrequenzen zunächst nur die Benutzung der wesentlich teureren Turmalinkristalle. Nun entstehen die Beugungsspektren bei den Versuchen von Debye und Sears bereits bei sehr kleinen Schallintensitäten, und es lag der Gedanke nahe, die Oberschwingungen eines piezoelektrischen Quarzkristalles zur Erregung der Schallwellen in der Flüssigkeit auszunutzen. Dadurch ist einmal die Möglichkeit gegeben, mit nur einem Quarz eine große Zahl von Schallfrequenzen zu erzeugen, und ferner gelingt es, ohne technische Schwierigkeiten zu höheren Schwingungszahlen zu kommen. Über solche Versuche soll im folgenden berichtet werden.

Die Versuchsanordnung war im wesentlichen wie bei Debye und Sears. Der Quarzkristall wurde auf einer Metallplatte, die als eine Elektrode diente, von einer Metallfeder, die die zweite Elektrode bildete, festgehalten und tauchte von oben in den mit der Flüssigkeit gefüllten rechteckigen Glastrog. Durch diesen wurde senkrecht zur Schallausbreitungsrichtung ein Spalt optisch abgebildet. Die einzelnen Beugungsspektren konnten subjektiv beobachtet und gleichzeitig photographiert werden[1]). Die Entfernung des Spaltbildes von der Trogmitte betrug etwa 68 cm. Als Lichtquelle diente eine Bogenlampe mit einem Grünfilter ($\lambda_{\text{eff.}} = 525\ \text{m}\mu$). Die Zuleitungen zu den Quarzkristallen waren an eine Spule angeschlossen, die induktiv mit einem kleinen Röhrensender gekoppelt war, dessen Wellenlänge zwischen 11 und 300 m variiert werden konnte. Die Abstände der photographierten Beugungsspektren vom zentralen Spaltbild wurden unter dem Mikroskop ausgemessen. Die Tabelle I zeigt Messungen an einem Quarzkristall, dessen Dicke 7,96 mm bei einem Querschnitt von $10 \times 5\ \text{mm}^2$ betrug. In der ersten Spalte sind mit n die Ordnungszahlen der einzelnen harmonischen Schwingungen – die Grundschwingung mit eingeschlossen – angegeben, in der zweiten Spalte ist die mit einem Wellenmesser gemessene elektrische Wellenlänge λ sowie die aus der Grundschwingung des Quarzes für die einzelnen Oberschwingungen errechnete Wellenlänge eingetragen. Die dritte Spalte bringt die in Millimetern gemessenen Abstände a der Beugungsspektren erster Ordnung, während die letzte Spalte das Verhältnis a/n wiedergibt. Wie man sieht, lassen sich sämtliche ungeraden Oberschwingungen bis zur 69. optisch nachweisen. Bei der 69. Oberschwingung beträgt der Abstand zweier Knotenstellen in der schwingenden Quarzplatte nur 0,11 mm; der Abstand des Beugungsbildes erster Ordnung vom Zentralbild erreicht den Wert von 7,03 mm, läßt sich also sehr genau messen; dabei betrug die Entfernung Bildebene–Trogmitte nur 68 cm. Die elektrische Wellenlänge von 11,8 m, die zur Erregung der 69. Oberschwingung notwendig ist, entspricht einer Schallwellenfrequenz von 25423000, und die Schallwellenlänge in der Flüssigkeit (Xylol) ist ungefähr 3×10^{-3} cm. In der Tabelle II sind dieselben Messungen für eine Quarzplatte von 1,43 mm Dicke bei einem Querschnitt von $16 \times 16\ \text{mm}^2$ wiedergegeben. Hier konnte noch die 17. Oberschwingung nachgewiesen werden, bei der der Abstand zweier Knotenebenen im Quarz 0,079 mm beträgt. Die Tabelle III zeigt schließlich Messungen an einer nur 0,287 mm starken runden Quarzplatte (Durchmesser 20 mm). Hier gelang eine Erregung bis zur dritten Oberschwingung, die einem Abstand

Tabelle I.
Quarz I.

n	$\lambda_{\text{elektr.}}$ in Meter gemessen	$\lambda_{\text{elektr.}}$ in Meter berechnet	a_{mm} gemessen	$\frac{a}{n}$
1	823	823	—	—
3	274	274,33	0,31	0,1033
5	164	164,6	0,51	0,102
7	117	117,57	0,73	0,104
9	—	91,44	0,921	0,1023
11	—	74,81	1,125	0,1022
13	—	63,30	1,337	0,1028
15	54,4	54,86	1,555	0,1037
17	48,4	48,41	1,750	0,1030
19	43,4	43,1	1,95	0,1026
21	39,15	39,19	2,15	0,1023
23	35,85	35,78	2,375	0,1032
25	33,0	32,92	2,575	0,1030
27	30,5	30,48	2,775	0,1028
29	28,5	28,39	2,975	0,1025
31	26,6	26,54	3,175	0,1024
33	25,0	24,90	3,40	0,1012
35	23,5	23,54	3,625	0,1035
37	22,35	22,24	3,820	0,1032
39	21,2	21,10	4,025	0,1030
41	20,15	20,07	4,225	0,1030
43	19,25	19,25	4,425	0,1028
45	18,27	18,28	4,635	0,1030
47	17,55	17,50	4,845	0,1030
49	16,79	16,79	5,045	0,1028
51	16,15	16,13	5,25	0,1029
53	15,5	15,52	5,45	0,1028
55	15,0	14,96	5,625	0,1022
57	14,5	14,38	5,85	0,1026
59	14,0	13,94	6,05	0,1025
61	13,4	13,49	6,22	0,1019
63	13,1	13,06	6,41	0,1017
65	12,6	12,66	6,60	0,1016
67	12,3	12,29	6,81	0,1016
69	11,8	11,89	7,03	0,1018

1) Hierfür erwies sich die Kleinfilmkamera Leica als sehr geeignet, da mit ihr die einzelnen Aufnahmen rasch hintereinander gemacht werden konnten.

Tabelle II.
Quarz II.

n	$\lambda_{\text{elektr.}}$ in Meter gemessen	$\lambda_{\text{elektr.}}$ in Meter berechnet	a_{mm} gemessen	$\frac{a}{n}$
1	201,1	201,1	0,416	0,416
2	100	100,5	0,83	0,415
3	—	67,0	1,25	0,416
5	40,2	40,22	2,07	0,414
7	28,7	28,7	2,92	0,417
9	22,3	22,34	3,75	0,416
11	18,35	18,29	4,575	0,415
13	15,5	15,47	5,406	0,416
15	—	13,40	6,24	0,416
17	—	11,82	7,07	0,415

zweier Knotenebenen im Quarz von 0,096 mm entspricht. In den letzten beiden Tabellen fällt auf, daß auch die zweite Oberschwingung auftritt, die normalerweise bei der benutzten Erregungsart des Quarzes nicht auftreten dürfte.

Tabelle III.
Quarz III.

n	$\lambda_{\text{elektr.}}$ in Meter gemessen	$\lambda_{\text{elektr.}}$ in Meter berechnet	a_{mm} gemessen	$\frac{a}{n}$
1	40,0	40,0	1,98	1,98
2	18,5	20,0	4,32	—
3	13,3	13,33	6,0	2,00

Daß sie deutlich festzustellen war, kann nur in irgendeiner Unsymmetrie der Quarzerregung liegen. Bei dem Quarz III weicht übrigens die gemessene elektrische Welle beträchtlich von der aus der Grundschwingung errechneten zweiten Harmonischen ab, der gemessene Abstand des Beugungsbildes erster Ordnung ist aber ebenfalls im gleichen Verhältnis zu groß. Es ist dies noch besser aus einer graphischen Darstellung zu erkennen, in der die soeben besprochenen Messungen in logarithmischen Koordinaten in der Weise aufgetragen sind, daß die Abszisse die gemessene elektrische Wellenlänge λ, die Ordinate die gemessenen Abstände a der Beugungsspektren erster Ordnung darstellt. Die Meßpunkte müssen bei dieser Darstellung auf einer Geraden liegen, deren Neigung 45° beträgt. Dies ist bei allen Messungen recht gut erfüllt.

Benutzt man also die Oberschwingungen eines Quarzkristalls zur Erregung der Schallwellen, so kann man mit einem einzigen Kristall verschiedene Schallfrequenzen erzeugen und jeweils die zugehörigen Abstände der Beugungsspektren vom Zentralbild messen. Trägt man diese Abstände in logarithmischen Koordinaten in Abhängigkeit von den elektrisch gemessenen Wellenlängen auf, wobei es nur nötig ist, diese auf einige Prozent genau zu bestimmen, so muß sich durch die Meßpunkte eine Gerade mit der Neigung von 45° gegen die Abszisse in der Weise hindurchlegen lassen, daß sie sich den einzelnen Meßpunkten weitgehend anpaßt. Auf dieser Geraden kann man dann zu einer bestimmten elektrischen Wellenlänge, d. h. zu einer genau definierten Schallfrequenz, den zugehörigen Abstand des Beugungsspektrums vom Zentralbild ablesen und zur Berechnung der Schallgeschwindigkeit verwenden. Die in der Tabelle I–III wiedergegebenen Messungen wurden in Xylol vorgenommen. Als Wert für die Schallgeschwindigkeit in dieser Flüssigkeit ergibt sich 1288 m/sec, während die Berechnung aus adiabatischer Kompressibilität und Dichte den Wert 1253 liefert. Schließlich zeigen die Messungen in Tabelle I noch das wichtige Resultat, daß sich die Schallgeschwindigkeit im Frequenzbereich von 1×10^6 bis 25×10^6 Schwingungen pro Sekunde nicht merklich ändert.

Es wurden dann in der beschriebenen Weise die Schallgeschwindigkeit im Wasser, Kochsalzlösungen verschiedener Konzentration und Chloroform bestimmt. Da die Salzlösungen ein beträchtliches elektrisches Leitvermögen besitzen, gelingt es nicht ohne weiteres, einen Quarzkristall in diesen Lösungen zu Schwingungen anzuregen, da die an die Kristallflächen angelegten elektrischen Wechselspannungen in den Flüssigkeiten zusammenbrechen. Um dies zu vermeiden, wurde eine Quarzplatte auf einen Halter aus Isoliermaterial aufgekittet, in den die eine Elektrode, die an der Rückseite der Quarzplatte anlag, so eingelassen war, daß sie und ihre Zuführung nicht in leitender Verbindung mit der Flüssigkeit stand. Auf diese Weise konnte der Quarz auch in stark leitenden Flüssigkeiten zu kräftigen Schwingungen angeregt werden. Die Beugungsspektren wurden bei Erregung mit der Wellenlänge 66,5, 40 und 22,5 m, die der dritten, fünften und neunten Oberschwingung der Quarzplatte entsprachen, photographiert und ausgemessen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle IV zusammengestellt. Die Meßpunkte, die zu ein und derselben Flüssigkeit gehören, liegen recht gut auf einer unter 45° gegen die Abszisse geneigten Geraden. Die aus den gemessenen Abständen der Beugungsspektren bestimmten Schallgeschwindigkeiten c sind ebenfalls in Tabelle IV angegeben; sie beziehen sich auf die Temperatur von 25°, bei der die Versuche ausgeführt wurden. Zum Vergleich sind die aus der Kompressibilität und Dichte errechneten Werte angegeben; die dieser Rechnung zugrunde gelegten Werte des Kompressionskoeffizienten β sind in der vorletzten Spalte der Tabelle IV mit aufgeführt. Für die Kochsalzlösungen sind Mittelwerte aus Messungen von

Tabelle IV.

Stoff		a_{mm} für λ =			$c_{m/sec}$ gemessen	$c_{m/sec}$ berechnet	$\beta \cdot 10^6$	$\beta \cdot 10^6$ berechnet aus c
		66,5	40	22,5				
Wasser		1,11	1,85	3,3	1465	1461	47,6	47,35
Kochsalzlösung	7,5 Proz.	1,035	1,72	3,06	1570	1573	39,0	39,1
	15 Proz.	1,00	1,67	2,95	1630	1670	33,0	34,6
	20 Proz.	0,957	1,60	2,83	1685	1721	29,5	31,0
	26 Proz.	0,92	1,53	2,75	1760	1802	26,0	27,2
Chloroform		1,7	2,8	5,0	981	973	97,4	96,0

W. Schumann[1]) und F. R. Pohl[2]) angegeben, die sich allerdings auf Temperaturen von 15 bzw. 13,9° beziehen. Daher sind auch die errechneten Werte der Schallgeschwindigkeit größer als die experimentell bestimmten. Immerhin zeigen die Messungen in zufriedenstellender Weise den Anstieg der Schallgeschwindigkeit mit zunehmender Konzentration. Nun kann man anderseits aus der gemessenen Schallgeschwindigkeit und der Dichte der betreffenden Flüssigkeit die Kompressibilität für diese bestimmen. Die so erhaltenen Werte sind in der letzten Spalte der Tabelle IV zusammengestellt. Sie gelten für die Versuchstemperatur von 25°; sie liegen daher für die Salzlösungen etwas höher als die in der vorletzten Spalte mitgeteilten, auf andere Weise bestimmten Werte der Kompressibilität[3]).

Es sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, daß der optische Nachweis der Oberschwingungen eines Piezoquarzes nach der Methode von Debye und Sears ein sehr bequemes Mittel liefert, um einen elektrischen Wellenmesser, besonders im Gebiete kurzer Wellen, zu eichen. Hierzu ist es nur notwendig, daß man die Frequenz einer Quarzschwingung und den dazugehörigen Abstand der Beugungsspektren kennt. Es lassen sich dann die zu anderen Beugungsspektren gehörigen Wellenlängen mit einer Genauigkeit angeben, die für die meisten Zwecke zu einer Wellenmessereichung genügt. Bei der Erregung des Quarzes mittels eines Röhrensenders muß man darauf achten, daß nicht durch eine zu feste Ankopplung der Quarz zu erzwungenen Schwingungen angeregt wird und dadurch falsche Oberschwingungen vorgetäuscht werden.

1) M. Schumann, Wied. Ann. **31**, 14, 1887.
2) F. R. Pohl, Diss. Bonn 1906.
3) Zur Berechnung der adiabatischen Kompressibilität von Chloroform wurde für c_p/c_v der Wert 1,36 aus einer Arbeit von F. A. Schulze (Physik. Zeitschrift **26**, 153, 1925) genommen. Aus den hier vorliegenden Messungen ergab sich der Wert 1,37.

Auf die Demonstration dieser sogenannten Zieherscheinung mittels der Methode von Debye und Sears haben kürzlich E. Hiedemann und H. R. Asbach[1]) hingewiesen.

Tabelle IV.

n	$\lambda_{elektr.}$ in Meter gemessen	a_{mm} gemessen	$\frac{a}{n}$
1	99	0,85	0,85
	93	0,81	
	89,4	0,95	
	87,5	0,97	
	85,0	0,995	
	39,25	2,15	
	37,3	2,26	
	35,8	2,35	
	33,9	2,48	
3	33,0	2,55	0,85
	21,05	3,99	
	20,75	4,055	
	20,4	4,125	
5	20	4,21	0,85

In der Tabelle IV sind in der dritten Spalte die gemessenen Abstände a der Beugungsspektren erster Ordnung für solche erzwungenen Quarzschwingungen wiedergegeben. Die zugehörigen elektrischen Wellenlängen, mit denen der Quarz erregt wurde, sind in der zweiten Spalte aufgeführt. Die Quarzplatte war in diesem Falle mit ihren Elektroden direkt an den Schwingungskreis des Senders angeschlossen. Trägt man die gemessenen Abstände a wieder in logarithmischen Koordinaten in Abhängigkeit von den zugehörigen elektrischen Wellenlängen graphisch auf, so liegen auch hier die Meßpunkte genau auf einer unter 45° geneigten Geraden.

1) E. Hiedemann u. H. R. Asbach, Physik. Zeitschr. **34**, 494, 1933.

Breslau, Physikalisches Institut der Universität, Juli 1933.

(Eingegangen 8. August 1933.)

Eine Anordnung zur Bestimmung der Resonanzspannung des Quecksilberdampfes für Übungszwecke.

Von G. Mönch.

Es werden ein verhältnismäßig kleines und einfaches Rohr, sowie die Gesamtanordnung und Schaltung zur Bestimmung der Resonanzspannung des Quecksilberdampfes angegeben, wie sie sich besonders für Übungs- und Vorführungszwecke eignen.

Um die Ausführung des Franck und Hertzschen Versuches zur Bestimmung der Resonanzspannung des Quecksilberdampfes[1]) im Rahmen

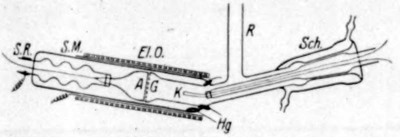


Fig. 1. Versuchsrohr zur Bestimmung der Resonanzspannung des Quecksilberdampfes. *A*: Anode, *K*: Kathode, *G*: Gitter, *R*: Rohr zur Pumpe, *Sch*: Schliff mit Kühlwassermantel, *El. O.*: Elektrischer Ofen, *S.M.*: Schutzmantel aus Blech, *S.R.*: Schutzring, eingebranntes Platin. Durchmesser des Versuchsrohres: 4 cm, Anode: Nickelblech, 0,1 mm stark, Gitter: Nickeldraht, 0,4 mm ∅, 125 Maschen auf 1 cm², Glühkathode: 0,01 mm starke *Pt*-Folie mit oder ohne Oxydfleck, Abstände: Gitter—Anode 1—2 mm, Kathode—Anode 4 cm.

physikalischer Übungen zu ermöglichen, wurde eine besondere Anordnung entwickelt. Das Versuchsrohr (Fig. 1) unterscheidet sich äußerlich von dem Original durch den geringeren Rohrdurchmesser (∅ = 4 cm); dadurch verringert sich die glastechnische Schwierigkeit seiner Herstellung wesentlich. Die Abstände der Elektroden wurden beibehalten und deswegen für die Elektroden die Platten- statt der Zylinderform gewählt[2]). Das Elektrodenmaterial ist Nickel. Die Glühkathode (*K*), deren Beschädigung im Übungsbetrieb unvermeidlich ist, kann mit dem Kernstück des wassergekühlten Schliffes (*Sch*)[3]) herausgenommen werden. Die Verwendung des Schliffes verlangt den Anschluß des Rohres an eine Hochvakuumpumpe[1]). Hierzu genügt eine Quecksilber-Strahlpumpe (wie sie leicht selbst herzustellen ist[2])), da das Gefälle des Quecksilberdampfdruckes vom Versuchsrohr zum Pumprohr *R* eine Pumpwirkung ausübt und die Reste an Fremdgasen in *R* hineinbefördert.

Vor der Messung wird das Rohr, das einige Tropfen Quecksilber enthält, mit einem elektrischen Ofen (*el. O.*) auf etwa 300° erhitzt.

Die Pumpe mit Vorvakuumkugel und allen Anschlüssen, sowie das Versuchsrohr sind zusammen auf einem Brett befestigt, so daß die gesamte Anordnung tragbar ist.

Die Schaltung mit dem geringsten Aufwand an Stromquellen zeigt Fig. 2.

Die Aufnahme der Kurven, von denen Fig. 3 ein Beispiel bringt[3]), erfolgte mit dem Einfaden-

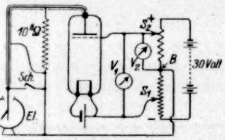


Fig. 2. Schaltung zur Bestimmung der Resonanzspannung des Quecksilberdampfes.

elektrometer (*El*)[4]) und einem parallel zum Elektrometergehäuse gelegten Hochohmwiderstand von 10^8 Ohm[5]). Die Resonanzspannung

1) J. Franck u. G. Hertz, Verhandl. d. Deutschen Physik. Ges. **16**, 457, 1914.

2) Die Bedenken, die gegen die Plattenform der Elektroden sprachen, wurden durch die Meßergebnisse (Fig. 3) widerlegt.

3) Der wassergekühlte Schliff wurde nach eigenen Angaben von der Glastechnischen Werkstatt K. Grunert, Erlangen, angefertigt.

1) Es gab die zwei Möglichkeiten: abgeschmolzenes Rohr ohne oder auswechselbare Glühkathode mit Pumpe. Letztere muß bevorzugt werden, da beim Durchbrennen der Glühkathode der Versuch ohne Hilfe eines Glasbläsers sofort wieder in Ordnung gebracht werden kann. Abgesehen von den mühevollen Vorbereitungen, die zur Herstellung des abgeschmolzenen Rohres nötig sind, überholen die Reparaturkosten bald den Anschaffungsaufwand für die selbstherstellbare Pumpe.

2) G. Mönch u. H. Sturm, Physik. Zeitschr. **34**, 134, 1933.

3) Auf der Abszisse ist die Spannung zwischen S_1 und B (Fig. 2), also $V_2 - V_1$, aufgetragen. Dadurch befand sich bei der Spannung $V_2 - V_1 = 0$ (S_1 in B) zwischen Gitter und Kathode immer noch die Spannung V_2 (etwa 4 Volt), und das erste Maximum trat schon ungefähr bei der Spannung $V_2 - V_1 = 1$ Volt auf.

4) Zur Vermeidung von überkriechenden Spannungen auf das Elektrometer muß zwischen Glaswand und elektrischem Ofen ein mit dem Elektrometergehäuse verbundener Blechmantel (*S.M.* in Fig. 1) eingeschoben werden. Zu dem gleichen Zweck dient der eingebrannte Platinring (*S.R.* in Fig. 1). Elektrometer-Empfindlichkeit 40 Skt/Volt.

5) Daß dabei die Anode kein festes, die Elektronen verzögerndes Potential hat, stört nicht. Bei zunehmender Stromstärke werden die Elektronen zwischen Gitter und Anode infolge der höheren Aufladung der Anode stärker abgebremst, wodurch die Ausprägung der Maxima höchstens abgeschwächt, ihre Lage jedoch nicht gefälscht werden kann.

ist aus der Lage der Maxima in Fig. 3 zu 4,9 Volt zu entnehmen.

Fig. 3. Anodenstrom in Abhängigkeit von der Spannung zwischen Anode und Kathode.

Für die Hilfe bei der Entwicklung der oben beschriebenen Anordnung bin ich den Herren cand. phys. H. Greinel und cand. phys. F. Fischer zu Dank verpflichtet.

Erlangen, Physikalisches Institut der Universität, August 1933.

(Eingegangen 9. September 1933.)

Kann das Drehmoment von einem rotierenden Körper auf einen anderen, ihn anziehenden übertragen werden?

(Vorläufige Mitteilung[1]).)

Von S. Pokrovski.

Ausgehend von der Frage, ob nicht die Drehung eines Körpers auf einen von ihm angezogenen ein Drehmoment übertragen kann, wurde folgender Versuch ausgeführt.

Ein eiserner Zylinder, 4,98 cm hoch und 1,68 cm im Durchmesser wurde innerhalb einer Drahtrolle $\left(\left(n_1 = 130 \frac{\text{Wind.}}{\text{cm}}\right)\right)$ mit einem Strom ~ 2 Å mit Hilfe eines ziemlich kleinen Motors in starke Drehung gebracht. Über diesem Zylinder wurde ein zweiter von derselben Größe an einen langen Stahldraht (93 cm lang, 0,0245 cm im Durchmesser) aufgehängt. Dieser Zylinder befand sich auch innerhalb einer stromdurchströmten Drahtrolle $\left(n_1 = 130 \frac{\text{Wind.}}{\text{cm}}, i \sim 1-2 \text{ Å}\right)$. Die Entfernung zwischen den Zylindern wechselte bei den verschiedenen Versuchen von 1 bis 9 mm. Zwischen den Zylindern befand sich eine dünne Glimmerplatte, um den oberen Zylinder gegen die Wirkungen der Wirbelströme der Luft, die bei der starken Drehung des unteren Zylinders entstehen, zu schützen. Der massive eiserne Dreifuß mit der ganzen für das Aufhängen des oberen Zylinders dienenden Vorrichtung war auf einem großen Gipsgestell befestigt. Der untere, sich drehende Zylinder war mit dem Motor zusammen auf einem Brette montiert, welches, ganz unabhängig vom Dreifuß, auf zwei Paar Schemeln, die mit massiven Stücken eiserner Schienen beladen waren, aufgestellt war.

Die ganze Anordnung war so, daß bei der Arbeit des Motors und der Drehung des unteren Zylinders nur sehr geringe Erschütterungen auf den oberen Zylinder übertragen wurden, dessen Ablenkungen man mit Hilfe eines kleinen, an den oberen Teil des angehängten Zylinders befestigten Spiegels beobachten konnte.

Der untere Zylinder wurde mit einer Geschwindigkeit von 25–30 Umdrehungen in der Sekunde in Drehung gebracht.

Die Intensität des Magnetfeldes in dem Zwischenraum der Zylinder bei einem Strom in den Drahtrollen von 2 Amp., die mit Hilfe einer Lenardschen Wismutspirale ausgemessen wurde, erreichte 6000 Gilbert, dem die gegenseitige Anziehung der Zylinder von ungefähr 3 kg entsprach.

Die überaus genauen vorläufigen Experimente, die von der Mitarbeiterin des physikalischen Laboratoriums des Elektrotechnischen Instituts M. F. Romanoff durchgeführt wurden, gaben keine bestimmten Resultate in der erwarteten Richtung.

Leningrad, Physikalisches Laboratorium des Elektrotechnischen Instituts.

(Eingegangen 11. August 1933.)

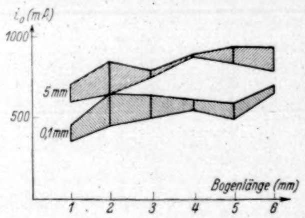
1) Vorgetragen in der Sitzung der Phys. Sektion d. Russ. Phys. Chem. Ges. am 4. Dezember 1932.

Zur Theorie der Bogenentladung.

Von R. Seeliger und K. Bock.

Die ältere Theorie der Bogenentladung, die eine rein thermische Auslösung von Elektronen aus der Kathode annimmt, gerät bekanntlich in vielen Fällen auf große Schwierigkeiten und ist sicher nicht allgemein richtig. Es sei nur erinnert an die Arbeiten von Compton, Stolt, Ramberg u. a. und an die verschiedenen Versuche, z. B. von Langmuir, Compton, Slepian usw., andere Mechanismen der Elektronenerzeugung zu ersinnen. Beim Wolframbogen und wahrscheinlich auch beim Kohlebogen kommt man zwar mit jener thermischen Theorie aus, aber beim Quecksilberbogen und z. B. beim Kupferbogen, sowie bei den sogenannten rotierenden oder wandernden Bogen ist man gezwungen, die thermische Theorie zu verlassen oder wenigstens wesentlich zu ergänzen. Die Kritik der thermischen Theorie konnte jedoch bisher stets nur gegründet werden auf Schlüsse indirekter Art, wie z. B. Folgerungen aus der Energiebilanz der Kathode oder aus Berechnungen der Brennflecktemperatur. Wir glauben nun einen weiteren, und zwar überzeugenden Hinweis darauf gefunden zu haben, daß die thermische Theorie nicht in allen Fällen richtig sein kann. Er besteht darin, daß für den Umschlag der Glimmentladung in die Bogenentladung sicher nicht die Temperatur der Kathodenoberfläche eine maßgebende Rolle spielt. Unsere Versuche beziehen sich vorläufig auf den Kupferbogen in freier Luft und werden systematisch bereits nach allen Richtungen hin fortgesetzt.

Die Versuche schließen an an eine Untersuchung[1]) des einen von uns mit den Herren v. Engel und Steenbeck und beruhen auf der folgenden einfachen Überlegung: Wenn man als Kathode eine planparallele ebene Metallplatte benutzt, auf deren Oberseite die Entladung ansetzt, während die Unterseite durch eine kräftige Wasserkühlung stets auf derselben konstanten Temperatur erhalten wird, kann man durch eine Variation der Plattendicke die „Kühlung" des von der Entladung bedeckten Oberseitenteils und damit dessen Maximaltemperatur sehr bequem in weiten Grenzen verändern. Bestimmt man nun unter sonst denselben Verhältnissen für verschiedene Plattendicken die Stromstärke, bei der die Glimmentladung in die Bogenentladung umschlägt, so kann man eindeutig entscheiden, ob für den Umschlag die Oberflächentemperatur der Kathode eine Rolle spielt oder nicht. Auf alle Einzelheiten der Versuchsanordnung und der Diskussion soll erst in einer später erscheinenden ausführlichen Veröffentlichung eingegangen werden; in dieser vorläufigen Mitteilung möge es genügen, an einer Figur das wesentliche Ergebnis einer typischen



Meßreihe zu zeigen. Aufgetragen ist für verschiedene Bogenlängen (mm) die Umschlagstromstärke (mA) für die Plattendicken von 5 mm und für 0,1 mm, und zwar jeweils die ganze Streuungsbreite, in der die Einzelmessungen lagen. Diese Streuungsbreite ist wahrscheinlich in der Hauptsache bedingt durch die unvermeidliche Oxydation der Kathodenoberfläche und läßt sich – die Versuche wurden, wie gesagt, in Luft von Atmosphärendruck ausgeführt – auch durch sorgfältige Reinigung unmittelbar vor jeder Messung nicht wesentlich verringern; Versuche in Edelgasen und bei verschiedenen Drucken sind bereits im Gang. Bemerkt sei nur noch, daß die Kathode und die ebenfalls wassergekühlte Stabanode sich vertikal gegenüberstanden und daß keine merklichen Unterschiede festzustellen waren, wenn die Kathode oben oder unten lag.

Wie die Figur zeigt, ist die Plattendicke, d. h. nach dem oben Gesagten die Kühlung, sicher ohne jeden Einfluß auf die Umschlagstromstärke. Es ist sogar im Gegenteil und ganz im Widerspruch zur thermischen Theorie die Umschlagstromstärke kleiner bei stärkerer Kühlung, d. h. kleinerer Plattendicke. Dies Letztere hängt offenbar damit zusammen, daß im Stadium der Glimmentladung die Gasdichte unmittelbar über der Kathode und deshalb die normale Stromdichte an der Kathode von der Kathodentemperatur abhängt und läßt sich, wie in der ausführlichen Arbeit gezeigt werden soll, verstehen durch die Annahme, daß für die Entstehung der Bogenentladung eine wesentliche Rolle nur die Stromdichte an der Kathode spielt.

Greifswald, Seminar für theoretische Physik.

(Eingegangen 18. September 1933.)

1) Zeitschr. f. Phys. **85**, 144, 1933.

BESPRECHUNGEN.

H. Barkhausen, Lehrbuch der Elektronenröhren. II. Band: Verstärker. Gr.-8°. XVI und 289 S. Mit 127 Fig. 4. Aufl. Leipzig 1933. S. Hirzel. RM 7.50, geb. RM 9.—.

Die außerordentlich schnelle Weiterentwicklung der Technik hat eine vollständige Neubearbeitung dieses zweiten Bandes des Lehrbuches der Elektronenröhren nötig gemacht.

Er gliedert sich jetzt in 3 Teile: A. Theorie der Röhren, B. Theorie der Schaltungen und C. der Gitterstrom. In Teil A. werden die verschiedenen Arten der Verstärker in folgenden Abschnitten behandelt:

1. Die Vorverstärker; darunter werden Verstärker verstanden, die bei einer möglichst kleinen ursprünglich vorhandenen Leistung eine möglichst große verstärkte Leistung liefern.
2. Die Kraftverstärker, die bei weitgehender Verzerrungsfreiheit mit möglichst günstiger Röhrenausnutzung arbeiten.
3. Die Senderverstärker, bei denen der Leistungsumsatz möglichst verlustlos vor sich geht und die Endleistungen bis über 100 kW erzeugen.

Abschnitt 1: Enthält unter anderem folgende Paragraphen: Der Grundgedanke bei der Verstärkung. Arbeitskennlinien. Röhrengrößen. Die günstigsten Beziehungen zwischen den Gleichspannungen, dem Durchgriff und dem äußeren Widerstand. Mehrgitterröhren.

Abschnitt 2: Grenzen für die verzerrungsfreie Aussteuerung. Die Anodenstrom-Verzerrungen bei konstantem Durchgriff. Klirrfaktor und Modulationsfaktor. Verzerrungen bei veränderlichem Durchgriff. Die günstigste Lage des Arbeitspunktes. Mehrgitterröhren. Gegentaktschaltung. Entzerrung.

Abschnitt 3: Leistungsumsatz. Die größtmöglichen Strom- und Spannungsschwankungen. Vorteile hoher Betriebsspannung. Telephoniesender.

Teil B, die Theorie der Schaltungen enthält die Paragraphen: Übersicht über die verschiedenen Probleme. Die Anodenseite. Die Gitterseite. Die Transformator- und Widerstandskoppelung. Die Hochfrequenzverstärkung. Mehrfachverstärker. Schutz gegen Rückkoppelungen. Störungen. Besondere Ausführungen.

In Teil C, der Gitterstrom, finden wir: Ursache und Größe des Gitterstroms. Wirkungen des Gitterstroms. Verwendung der Röhre als Elektrometer. Die durch den Gitterstrom hervorgerufenen Verzerrungen. Die zum Steuern erforderliche Gitterleistung.

Die mathematischen Voraussetzungen übersteigen nirgends die Grenzen der Kenntnisse, die man von einem Experimentalphysiker oder Elektrotechniker verlangen muß. Wie die anderen Bücher Barkhausens zeichnet sich auch der vorliegende 2. Band durch hervorragende Klarheit, Verständlichkeit und Übersichtlichkeit aus, die besonders durch vielfache Verwendung von Kennlinien, Ersatzschaltungen und die am Schluß der Hauptabschnitte angefügten Zusammenfassungen unterstützt wird.

Dieser zweite Band ist kurz gesagt: „Das Verstärkerbuch". Herweg.

L. de Broglie, Théorie de la quantification. 8°, XXVIII u. 250 S. Paris 1932. Hermann & Cie. Fr. 70.—.

Das Buch gibt eine ausführliche Darstellung der allgemeinen Methoden der Wellenmechanik. Anwendungen jeder Art sind dementsprechend ausgeschlossen, ebenso Weiterbildungen der Theorie (wie das Diracsche Spinelektron). Die Darstellung zeichnet sich durch große Präzision aus. Alle wichtigen Sätze werden exakt formuliert. Dabei wird die Theorie ab ovo entwickelt.

Nach einer kurzen Einleitung über die alte Quantentheorie wird die Schrödingersche Wellengleichung in üblicher Weise abgeleitet. (Nicht ganz überzeugend ist dabei die Einführung der zeitabhängigen Gleichung, außerdem bedauert man, daß $p_x = -\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial x}$ gesetzt wird entgegen der konventionellen Vorzeichenwahl $p_x = +\frac{h}{2\pi i}\cdot\frac{\partial}{\partial x}$.) Dann folgen die einfachsten Beispiele (Oszillator, Rotator, H-Atom). Der Rest des Buches gibt im wesentlichen eine sorgfältige Theorie der Eigenwertprobleme, die stets mit Bezugnahme auf die Wellenmechanik entwickelt wird. Besonderer Nachdruck wird mit Recht auf die Entwicklung nach Eigenfunktionen und ihre physikalische Bedeutung gelegt. Zum Schluß werden eingehend die Konstanten der Bewegung behandelt.

Im Streben nach mathematischer Präzision werden manche Sätze mehrfach mit geringen Abwandlungen wiederholt. Diese Längen sind der einzige Mangel, den der Referent an dem Buch entdecken konnte.

Mit seiner exakten und leicht verständlichen Behandlung der mathematischen Grundlagen ergänzt das Buch in glücklicher Weise die früheren Darstellungen der Quantenmechanik, die sich wesentlich mit den Anwendungen und der physikalischen Seite des Problems beschäftigen. Bethe.

A. v. Engel und M. Steenbeck, Elektrische Gasentladungen, ihre Physik und Technik. I. Bd. Grundgesetze. Berlin 1932. Verlag von Julius Springer. Preis: RM 24.—, geb. RM 25.50.

Das Buch ist aus dem Wunsche entstanden, eine Darstellung der Physik und Technik der Gasentladungen zu schaffen, welche ein möglichst anschauliches Gesamtbild und der aus ihm mathematisch zu erhaltenden Folgerungen ergibt. Die hierbei notwendigen experimentellen Ergebnisse werden ausführlich zahlenmäßig aufgeführt.

Die Zusammenfassung ist scharf gegliedert und schließt sich überall an an bildhaft faßbare Vorgänge. Von mathematischen Hilfsmitteln sind die dem Elektrotechniker und experimentellen Physiker ferner liegenden vermieden.

Im Text sind in großem Umfang Kurven und Tabellen eingefügt; Zitate und Fußnoten sind aus Prinzip, m. E. aber in diesem extremen Maße doch nicht ganz zum Vorteile des trefflichen Werkes vermieden. Dafür soll dann der II. Band ein ausführliches Literaturverzeichnis bringen.

Der vorliegende erste Band enthält die Gesetze der Erzeugung, Bewegung und Vernichtung von Ladungsträgern. In einem Anhang sind Grundgesetze der Kinetischen Theorie der Gase sowie einige im Text gebrauchte Formeln gesondert behandelt.

Das erste Kapitel, „Erzeugung von Ladungsträgern", behandelt die Stoßgesetze, Elektronen- und Ionenstrahlen, Photonen und Thermionen, in selbständiger und unselbständiger Entladung, sowie die Ionisierung an Grenzflächen. Dann folgt als zweites Kapitel die „Bewegung der Ladungsträger" im Vakuum, im Gasraum, im feldfreien Raum und im elektrischen und magnetischen Felde, sowie die Schwingungen von Ladungsträgern. Das dritte Kapitel handelt von der „Vernichtung der Ladungsträger" an den Elektroden und durch Rekombination.

Das Buch ist außerordentlich klar und übersichtlich dargestellt und wird für jeden Physiker und Techniker ein willkommener Berater bei quantitativ zu bearbeitenden Problemen der elektrischen Gasentladungen sein. Erich Marx.

Exposés de physique théorique. Hrsg. von L. de Broglie. VI. E. Néculcéa, Sur la théorie du rayonnement d'après M. C. G. Darwin. VII. G. Fournier et M. Guillot, Sur l'absorption exponentielle des rayons β du radium *E*. VIII. H. Mineur, L'univers en expansion. Paris 1933. Hermann & Cie.

Von den beiden Gefahren, zwischen die aktuelle Berichte dieser Art gestellt sind, entweder durch Beschränkung auf das Gesicherte am Interessanten vorbeizugehen oder durch Berücksichtigung auch unerprobter Ideen gelegentlich einen unfruchtbar bleibenden Ansatz mit aufzunehmen, wählt der Herausgeber dieser Sammlung entschlossen die zweite. — Unter den vorliegenden drei Heften darf vor allem H. Mineurs übersichtliche Darstellung der bis 1932 vorgelegten Theorien über Expansion des Universums Anspruch auf allgemeineres Interesse erheben, wenngleich durch den neuesten Vorschlag von Milne (vgl. E. Freundlich, Naturw. **21**, 54, 1933) sich das Bild gegenüber dem damaligen Stand bereits wieder etwas verschoben hat. Die beiden anderen Hefte berichten über einen Versuch von C. G. Darwin, die Strahlungstheorie in Analogie zur Diracschen Theorie des Elektrons umzuformen, und über eigene interessante Experimente von Fournier und Guillot, die zeigen, daß die Absorption des kontinuierlichen β-Spektrums von *Ra E* sehr viel genauer als die Absorption monochromatischer β-Strahlung einem Exponentialgesetz folgt, und die Absorptionskoeffizienten zahlreicher Stoffe festlegen. C. F. v. Weizsäcker.

L. Hopf, Einführung in die Differentialgleichungen der Physik. (Sammlung Göschen Nr. 1070.) Kl.-8°. 138 S. Mit 49 Abbildungen. Berlin und Leipzig 1933. W. de Gruyter u. Co. Geb. RM 1.62.

In der theoretischen Physik besteht eine der wesentlichsten Schwierigkeiten für den Anfänger in der Gewinnung des mathematischen Ansatzes, d. h. darin, den in Frage kommenden physikalischen Sachverhalt abzubilden auf einen passenden mathematischen, und — umgekehrt — in der anschaulichen Deutung mathematischer Folgerungen. Dem hiermit angedeuteten Bedürfnis kommt die vorliegende sehr verdienstliche Einführung in ganz vorzüglicher Weise entgegen. Das Gewicht der Darstellung ruht also auf der praktischen Anwendung, wobei aber auf fehlende mathematische Beweise jeweils hingewiesen wird. Fußend auf einem nur geringen Bestande an mathematischen Vorkenntnissen (Differential- und Integralrechnung, Vektoralgebra) bespricht Verfasser zunächst die Differentialgleichung als Ausdruck eines Naturgesetzes (1. Kapitel) und behandelt sodann (2. Kapitel) die Differentialgleichungen der Mechanik von Punkt und Punktsystem, insbesondere die Schwingungsprobleme. Kapitel 3 und 4 bringen die einfachsten partiellen Differentialausdrücke und -gleichungen, wobei an Lösungsmethoden u. a. die Elimination von unabhängigen Veränderlichen sowie die Einführung von Potentialen benützt werden. Demgegenüber enthält Kapitel 5 („Lösung durch Eigenfunktionen") die wichtigsten Beispiele für die Zurückführung partieller Differentialgleichungen durch Produktansatz auf gewöhnliche; ferner Kapital 6 die Lösung durch Variablenkombination (Charakteristiken), wobei insbesondere auch Aufgaben der konformen Abbildung behandelt werden, während das letzte (7.) Kapitel die Lösung mit Hilfe von Singularitäten (Grundlösungen, Greenscher Satz, Zurückführung auf Integralgleichungen) enthält.

Ein Sachverzeichnis ist beigegeben.

Haupt.

E. Warburg †, Lehrbuch der Experimentalphysik. Gr.-8°. XX u. 484 S. Mit 453 Abb. 23. und 24. verbesserte Auflage. Hrsg. v. G. Hertz. Dresden 1933. Th. Steinkopff. Geb. RM 12.—.

Die vorletzte Auflage dieses altbewährten Lehrbuchs ist 1922 erschienen. Die darauffolgende (1929) bedeutete dieser gegenüber eine fast völlige Neubearbeitung mit Rücksicht auf die lange dazwischenliegende Zeit und die darin erzielten Fortschritte der Physik. Auch die vorliegende Auflage (1933) hat wieder eine Reihe von Verbesserungen und Ergänzungen erfahren, die im wesentlichen noch auf den verstorbenen Verfasser zurückgehen; doch sind diese Veränderungen diesmal naturgemäß weniger einschneidend. Es erübrigt sich daher, auf Einzelheiten einzugehen. Dagegen sei wieder auf einen Hauptvorzug des Werkes aufmerksam gemacht, daß es nämlich in äußerst gedrängter und übersichtlicher Form — den Stoff mehr nach systematischen als methodischen Gesichtspunkten ordnend — ein reiches Tatsachenmaterial darbietet und insofern als ein vorzügliches Handbuch für den Studierenden und Lehrer gelten kann. Die Ausstattung ist sehr gut, der geringe Preis in heutiger Zeit ein besonderer Vorzug. E. Nies.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1933/34.

Technische Hochschule Aachen. **Starke**: Experimentalphysik I, 4; Übungen im physikalischen Laboratorium, 4 und 2, für Vorgeschrittene, 4; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl. — **Seitz**: Theorie der Elektrizität, 3, Übungen, 1; Experimentalphysik, enzyklopädischer Kurs, 2; Übungen im physikalischen Praktikum, 2; Anleitungen zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl. — **Hoelper**: Flugmeteorologie II, Anwendungen und Übungen, 2. — **Kirschbaum**: Ausgewählte Kapitel der Physik: Röntgenspektroskopie, 2; Seminaristische Übungen und Ergänzungen zur Experimentalphysik, 2; Photographie, für Fortgeschrittene, 1, Übungen, 3. — **Schmidt**: Angewandte Wärmestrahlung: Strahlungspyrometrie, Strahlungswärmeübergang, Regelverfahren mit Hilfe von Wärmestrahlung, 6. —

Universität Basel. **Hagenbach**: Experimentalphysik II, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, halb- und ganztägig, für Anfänger, 8; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 g. — **Matthies**: Analytische Mechanik, 5, Übungen, 1; Potentialtheorie, mit Übungen, 3; Mathematisch-physikalisches Seminar, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, 1. — **Zickendraht**: Nieder- und mittelfrequente Wechselströme und ihre Anwendungen, 2; Wechselstrompraktikum, 3. — **Zehnder**: Geschichte der Physik, 1; Physik des täglichen Lebens, 1. — **Wehrli**: Gasentladungen und Elektrolyte, 2. —

Universität Berlin. **N. N.**: Experimentalphysik II, 4; Physikalische Forschungsarbeiten (mit Wehnelt, Hettner, Czerny, Sommer, Schumann und Orthmann), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit v. Laue), 2 g. — **Schrödinger**: Mechanik, 4, Theoretisch-physikalische Übungen, 1 g; Physikalisches Proseminar (mit v. Laue), nach Verabredung; Besprechung neuerer Arbeiten der theoretischen Physik (mit v. Laue, Möglich und Szilard), 2 g. — **Wehnelt**: Physikalisches Anfängerpraktikum, 6, Ergänzungen, 1 g; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das naturwissenschaftliche Arbeiten, 3; Physikalisches Praktikum für Pharmazeuten, 3; Experimentell-physikalische Arbeiten (mit Becker und Schumann), tägl. — **Reichenbach**: Die philosophischen Probleme von Raum und Zeit, 3; Naturphilosophisches Seminar, 2. — **Schuster**: Gestalter der deutschen Biologie im 19. Jahrhundert, 1 g; Biologiehistorische Übungen über Abstammung, Vererbung und Rasse, 2 g. — **Orthmann**: Einführung in die theoretische und messende Physik, mit Experimenten, 2. — **Hettner**: Feldphysik II, 4; Theoretisch-physikalische Übungen, 1. — **Möglich**: Gasstatistik und Strahlungstheorie, 4, Übungen, 2; Einführung in die theoretische Physik, 2; Theoretisch-physikalisches Proseminar, 2. — **Grotrian**: Physik der Sonne, mit Lichtbildern, 1; Spektroskopisches Praktikum (mit Schüler), 4; Spektroskopische Forschungsarbeiten (mit Schüler), tägl. — **Henning**: Einführung in die Thermodynamik, 2. — **Meissner**: Erzeugung tiefer Temperaturen und Gasverflüssigung, mit Demonstrationen, 1 g. — **Kopfermann**: Elektronentheorie der Metalle, 1. — **Sommer**: Magneto- und Elektrooptik, 1. — **Gehrcke**: Ausgewählte Kapitel aus der modernen Optik, 1. — **Czerny**: Kristalloptik, 1; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 8. — **Beutler**: Spektrallinien und Atombau, 1. — **Schüler**: Beziehung zwischen den optischen Spektren und dem Aufbau der Atomkerne, 1. — **Kolhörster**: Zodiakal- und Polarlicht, 1; Sonderfragen der Höhenstrahlungsforschung, 1; Arbeiten über Höhenstrahlung, für Fortgeschrittene, tägl. — **Kiebitz**: Militärische Verwendung der elektrischen Nachrichtenmittel, 1. — **Trendelenburg**: Einführung in die Schwingungslehre, 1. — **Becker**: Die Heerestechnik in ihren Beziehungen zur Mathematik und Physik, 1 g. — **Blasius**: Praktische Übungen für Fortgeschrittene, 7. — **Eggert**: Grundlagen und Anwendungen der Photographie: Wissenschaftliche, Röntgen- und Farbenphotographie, Kinematographie, einschließlich Tonfilm, Reproduktionstechnik, $1^1/_2$. — **Scheffer**: Angewandte wissenschaftliche Mikroskopie und Mikrophotographie, nach Verabredung, g; Angewandte wissenschaftliche Photographie, nach Verabredung, g. — **Beck**: Photographisches Praktikum für Anfänger und Fortgeschrittene, 2. — **v. Ficker**: Allgemeine Meteorologie, 2; Meteorologisches Kolloquium (mit Defant), 2 g; Anleitung zu meteorologischen und klimatologischen Arbeiten (mit Knoch), tägl. g. — **Defant**: Barometrische Höhenmessung, 1. — **Knoch**: Die Klimazonen der Erde, 1; Quellenwerke der Meteorologie und Klimatologie, 1. — **Kähler**: Einführung in die Wolken- und Gewitterkunde, 1; Übungen aus dem Gebiete der Meteorologie, atmosphärischen Elektrizität und Strahlung, 2, für Fortgeschrittene, tägl. — **Less**: Praktische Witterungskunde, 1. — **Kölzer**: Geschichte des Wetterdienstes und meteorologische Erfahrungen des Weltkrieges, 1. — **Robitzsch**: Meteorologische, aerologische und damit zusammenhängende geophysikalische Beobachtungen auf Reisen, mit Demonstrationen, 1. — **Bartels**: Untersuchung periodischer Vorgänge in der Geophysik und Meteorologie, 1. — **König**: Flugmeteorologie, 2. —

Technische Hochschule Berlin. **Hertz**: Experimentalphysik, 4; Physikalische Übungen für Fortgeschrittene (mit Houtermans), nach Verabredung; Praktische Arbeiten im Physikalischen Institut, tägl.; Kolloquium über neue Probleme der Physik und Chemie (mit Volmer und Becker), 14tägig, 2; Kolloquium über Probleme der technischen Physik (mit Cranz, Becker, Engl, Leithäuser, Seegert, Schachenmeier, Schulz, Volmer und Weidert), 14tägig, 2 g. — **Westphal**: Physikalische Übungen für Anfänger, 12 und 4, Ergänzungen, 5. — **Becker**: Optik aller Wellenlängen, 3, Übungen, 2; Seminar über spezielle Fragen der theoretischen Physik, 2 g; Allgemeine Heerestechnik, 2. — **Cranz**: Ausgewählte Kapitel aus der technischen Physik, 2, Übungen, nach Verabredung; Seminar für technische Physik, 14tägig, 2 g. — **Ramsauer**: Physikalisch-technische Arbeiten, nach Verabredung. — **Wallot**: Hilfsmittel für die Berechnung elektrischer Schaltungen I: Vierpoltheorie, Matrizenrechnung, 1. — **Schachenmeier**: Ausgewählte Probleme der theoretischen Physik, 1. — **Houtermans**: Einführung in die experimentelle Atomphysik, $1^1/_2$. — **Sauter**: Quantenmechanik, 2. — **Frerichs**: Apparate und Methoden der spektroskopischen Forschung, nach Verabredung. — **Rupp**: Welleneigenschaften der Materie, 2. — **Schröter**: Ausgewählte Kapitel aus der Physik der Hochvakuum- und der Gasentladungen, 1. — **Engl**: Lichtquellen und Lichtstrahlung, 2; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, nach Verabredung. — **Weidert**: Geometrische Optik I und

II, 2; Seminar für optisches Rechnen I und II, 2, Übungen, nach Verabredung, *g*; Theorie und Wirkungsweise der optischen Instrumente I und II, 2, Übungen, 4; Optische Laboratoriumsarbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Lichtkundliche Übungen: Lichttechnik, optische Instrumente, Photographie, 2; Kolloquium über neuere Probleme der technischen Optik (mit Picht), 14tägig, $1^1/_2$ *g*. — **Schulz**: Einführung in die physiologische Optik, 1. — **Seegert**: Fernrohre und Prismensysteme, 1. — **Picht**: Geometrische Optik, 1; Das photographische Objektiv, 1; Entfernungsmesser und Richtgeräte, 14tägig, 1; Theorie der Optik inhomogener Medien mit Anwendung auf die Elektronenoptik: Elektronenmikroskop, 14tägig, 1. — **Jung**: Einführung in die Geophysik: Erdbeben, Aufbau der Erde, magnetisches und elektrisches Feld der Erde, 2; Bewegung und Figur der Erde, Schwerkraft, Isostasie, Gezeiten, Physik des Meeres und der Atmosphäre, 2; Geophysikalische Übungen, 14tägig, 2; Geophysikalisches Kolloquium (mit Reich), 14-tägig, 2. — **Hergesell**: Erforschung der Atmosphäre durch Registrierballone, 1. — **Kassner**: Die Niederschläge als Grundlage von Wasserwirtschaft und Wasserbau, 1; Das Wetter in der Technik, 1. — **Herrmann**: Röntgen-Strukturforschung, 3; Röntgen-Strukturuntersuchungen, tägl.; Kleines röntgenographisches Praktikum, 5; Physik der Röntgenstrahlen, nach Verabredung. —

Universität Bern. **Greinacher**: Experimentalphysik: Wärme, Elektrizität, Magnetismus, 5, Ergänzungen, 1; Repetitorium der Physik, 1; Physikalisches Kolloquium (mit Gruner), nach Verabredung *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Vorgerücktere, 3 halbe Tage; Physikalisches Vollpraktikum, tägl. — **Gruner**: Elektrodynamik, 4; Mechanik deformierbarer Körper, 2; Quantenmechanik, 2; Seminar für theoretische Physik (mit König), nach Verabredung. — **Koestler**: Statistische Forschungsmethoden des Naturwissenschafters, 1; Grundprobleme der elektrischen Hochspannungstechnik, 1; Ausgewählte Kapitel der Mechanik: Das Prinzip der virtuellen Verschiebungen, 1. — **König**: Thermodynamische Behandlung chemischer Probleme, Theoretischer Teil, 1. — **Feitknecht**: Thermodynamische Behandlung chemischer Probleme, Anwendungen, 1. —

Universität Bonn. **Konen**: Experimentelle Mechanik und Akustik, 3; Experimentelle Wärmelehre, 2; Physikalische Übungen für Anfänger (mit Szivessy), halbtägig, für Fortgeschrittene, ganztägig; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, ganztägig; Physikalisches Kolloquium (mit Pflüger, Grebe, Szivessy, Wever, Schmitz und Dreisch), 2. — **Pflüger**: Theorie der Mechanik, Elastizität, Hydrodynamik, 6. — **Grebe**: Einführung in die theoretische Physik: Vektorenanalysis, Maxwellsche Theorie, 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten aus der Physik der Röntgenstrahlen, tägl. — **Szivessy**: Wärmelehre: Thermodynamik, mit besonderer Berücksichtigung der technischen Anwendungen, 4; Grundlagen der physikalischen Meßverfahren und Meßmethoden, 1; Seminaristische Übungen für Physiker und Lehramtskandidaten; Grundlagen der mathematischen Physik: Feldphysik, 2. — **Wever**: Physikalisch-technische Besichtigungen, nach Verabredung, *g*. — **Schmitz**: Drahtlose Telegraphie und Telephonie II, 1. — **Dreisch**: Das ultrarote Spektrum, 1; Flugtechnik, 1. —

Technische Hochschule Braunschweig. **Dießelhorst**: Experimentalphysik I: Elektrizität und Magnetismus, 4; Vektorrechnung, 1; Ausgewählte Abschnitte aus der theoretischen Physik, 2; Physikalisches Praktikum I und II; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Koppe**: Flug und Landung im Nebel, 1; Wettervorhersage, 1; Übungen in Luftfahrtmeßtechnik, 2; Übungen in Flugmeteorologie, 2; Kolloquium über Fragen des praktischen Luftverkehrs, 2 *g*. — **Bergwitz**: Elektrische Leitung in Gasen, 2; Elektronisch-radiologisches Praktikum, 1 Nachmittag. — **Lübcke**: Technische Physik in Marine und Heer, 1; Übungen zur Elektrotechnik II, 1; Physikalisch-technische Arbeiten im Laboratorium, nach Verabredung. —

Universität Breslau. **Schaefer**: Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Senftleben, Bergmann und Kohn), 3 oder 6, für Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte, 3, für Fortgeschrittene (mit Steubing, Senftleben, Bergmann und Kohn), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Reiche, Steubing und Waetzmann), 2. — **Steubing**: Röntgenstrahlen und ihre Anwendungen, 2; Geschichte der Physik, 1; Geometrische Optik, 1; Handfertigkeitspraktikum, 3; Übungen in der Ausführung physikalischer Experimente im Schulunterricht: Magnetismus, Elektrizität, Optik, 2. — **Reiche**: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 5, Übungen, 1. — **Ludloff**: Statistische Mechanik und Quantenmechanik, 4. — **Jüttner**: Vektor- und Tensorrechnung und ihre Anwendung in der theoretischen Physik, 2. — **Senftleben**: Elektrische Entladung in Gasen, 2; Seminar über Fragen der modernen Physik, 2. — **Bergmann**: Schwingungsprobleme in der Physik, 2; Hochfrequenzpraktikum, 2. — **Groß**: Schulphysik II: Ausgewählte Kapitel aus Magnetismus, Elektrizität, Optik, 1; Die Behandlung der modernen Technik im Physikunterricht, 2. —

Technische Hochschule Brünn. **Lohr**: Allgemeine und technische Physik: Elektromagnetische Erscheinungen und Optik, $3^1/_2$; Technische Physik II: Elektromagnetische Erscheinungen, 3; Physikalisches Praktikum, 4 und 3; Physikalisches Kolloquium, 1. — **Schoklitsch**: Meteorologie und Klimatologie, 3. —

Bergakademie Clausthal. **Valentiner**: Experimentalphysik I: Mechanik starrer, flüssiger, gasförmiger Körper, Elektrizität und Magnetismus, 4; Physikalisches Praktikum, 3; Physikalische Grundlagen der Wärmetechnik: Technische Wärmelehre, 2; Physikalisch-mathematisches Kolloquium (mit König), 2 *g*; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, ganztägig. — **Becker**: Praktikum im Röntgenlaboratorium für Metallforschung, 2. — **Rössiger**: Meßmethoden der angewandten Geophysik, 1; Geophysikalisches Praktikum, 2. —

Technische Hochschule Danzig. **Buchwald**: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 4, Übungen, 2 *g*; Ausgewählte Kapitel der Quantentheorie, 1; Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene I (mit Kossel), nach Vereinbarung; Physikalisches Kolloquium (mit Kossel), $1^1/_2$ *g*. — **Kalähne**: Einführung in die Radio- und Elektrophysik, 1; Photographie und Reproduktionsverfahren, 1; Ausgewählte Kapitel der Spektroskopie, 1; Übungen in Photographie und Reproduktionsverfahren I,

für Anfänger, 3, II, für Fortgeschrittene, tägl.; Großes radio- und photophysikalisches Praktikum, tägl.; Radiopraktikum I und II, 4. — **Kossel:** Experimentalphysik I, 5; Kleines physikalisches Praktikum (mit Wolf), $3^1/_2$; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene II, tägl. — **Koschmieder:** Dynamische Meteorologie, 2, Übungen, 2; Meteorologisches Kolloquium, 2 *g*. — **Wolf:** Physik der Atomkerne, 1; Demonstrationspraktikum, 2; Einführung in das kleine physikalische Praktikum, 1; Handfertigkeitspraktikum, 4 Wochen. —

Technische Hochschule Darmstadt. **Rau:** Experimentalphysik unter besonderer Berücksichtigung der technischen Anwendungen: Mechanik der festen, flüssigen und gasförmigen Körper, Wärme, Schwingungslehre (einschließlich Akustik), Geometrische Optik, Farbenlehre, Wellenlehre des Lichtes, 5; Physikalische Übungen, 3 Nachmittage, für Fortgeschrittene, 4 halbe Tage; Physikalisches Seminar, 1; Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik, nach Verabredung; Physikalisches Kolloquium, 1 *g*; Werkstattkurs, 3. — **Zeißig:** Experimentalphysik: Magnetismus, Elektrostatik, Elektrische Ströme, Optik, 3; Physikalische Meßkunde und Apparatebau, 2; Ausgewählte Kapitel aus der technischen Physik, 1—2; Kolloquium in technischer Physik, 1 *g*; Arbeiten aus der technischen Physik, nach Verabredung. — **N. N.:** Elektrodynamik: Theorie von Maxwell und von Lorentz, Relativitätstheorie, 4, Übungen, 2. — **Knipping:** Einführung in das Gebiet der Röntgenstrahlen, 2, Übungen, 1; Röntgenseminar, 1 *g*; Röntgenpraktikum für Anfänger, 3—4, für Fortgeschrittene, 6—8; Selbständige Arbeiten auf dem Röntgengebiet, tägl. — **Reutlinger:** Abschnitte aus der technischen Physik, mit besonderer Betonung der Meßmethoden und Instrumente III: Wärme-Optik, mit Übungen, 2; Meßmethoden und Meßgeräte der mechanischen Schwingungsmessung, 3 *g*; Einführung in das technisch-physikalische Messen und Beobachten, 1 *g*. — **Herzberg:** Einführung in die moderne Atommechanik: Wellenmechanik und Quantenmechanik, 2, Übungen, 1. — **Georgii:** Wetter und Wettervorhersage: Flugwetterkunde, 2; Allgemeine Meteorologie, 2; Ausgewählte Kapitel aus der theoretischen Meteorologie, 1; Flugmeteorologisches Kolloquium, 2; Flugmeteorologisches Praktikum, Meßflüge, wetterkundliche Übungen, 2. — **Limmer:** Photographische Übungen A, für Anfänger, 3, für Fortgeschrittene, 6, B, 3; Photographisches Vollpraktikum, 15; Photographisches Kolloquium, 1; Grundlagen der Photographie, 2; Photographische Optik und Projektionskunde, 1; Theorie und Praxis der technischen Kopierverfahren, mit Übungen, 1. —

Universität Erlangen. **Gudden:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 5; Besprechung physikalischer Tagesfragen (mit Reiger, Rump und Kohl), 1 *g*; Höhere Experimentalphysik II: Elektrizität, 2; Übungen im Beobachten und Messen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8; Übungen in schriftlicher und mündlicher Darlegung, für Fortgeschrittene, 1 *g*; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **Reiger:** Theoretische Physik: Optik, 4, Übungen, 1; Übungen: Elektrizität, 1; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **Rump:** Physik der Röntgenstrahlen, 1; Strahlenkunde, für Mediziner, 1. — **Kohl:** Elektrische Übungen, für Fortgeschrittene, 20; Seminar für Physiker, 2 *g*; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. —

Bergakademie Freiberg. **Aeckerlein:** Experimentalphysik, 4; Physikalische Übungen, 2. — **Brion:** Elektrotechnik, 2; Elektrotechnische Übungen, 4, Elektrotechnisches Kolloquium, 1 *g*. — **Papperitz:** Aktuelle Probleme der mathematischen Physik, 1. — **N. N.:** Geophysik, nach Verabredung. —

Universität Freiburg i. Br. **Mie:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 5, Ergänzungen, 2; Physikalische Übungen, 6, für Fortgeschrittene I (mit Kast), 6, II: Technische Physik, 6; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, ganztägig; Physikalisches und physikalisch-chemisches Kolloquium (mit v. Hevesy), 2 *g*. — **Klumb:** Experimentalphysik IV: Atomphysik, 3; Ausgewählte Kapitel aus der angewandten Physik, 2; Seminar für angewandte Physik: Luftschutz, 1; Die Probleme der modernen Physik, 1. — **Kast:** Technische Physik II: Mechanik und Wärme, 3. — **Koenigsberger:** Einführung in die theoretische Physik: Elektromagnetismus, Optik, mit Übungen, 5; Allgemeine Geophysik, 1—2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Hammer:** Elektrizität in Gasen, 1. —

Universität Freiburg (Schweiz). **Schmid:** Experimentalphysik, 5, Ergänzungen, 1, Repetitorium, 1; Methodik des physikalischen Unterrichts, mit Übungen, 3; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 3, für Pharmazeuten, 4; Anfängerpraktikum für Naturwissenschaftler, 12; Physikalisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Huber:** Mathematische Physik, 4. — **Brasey:** Schwingungsphänomene, 2. —

Universität Gießen. **Gerthsen:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, 5; Ausgewählte Kapitel aus der Atomphysik, mit Demonstrationen, nach Verabredung *g*; Physikalisches Praktikum (mit Cermak), 6 und 3; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten (mit Cermak), tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Kolloquium (mit Cermak), 2. — **N. N.:** Maxwellsche Theorie, 4; Einführung in die Hydrodynamik, 1; Übungen zur theoretischen Physik, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Cermak:** Höhere Experimentalphysik, Interferenz und Polarisation, 1; Handfertigkeitspraktikum, 3; Physikalisches Seminar, nach Verabredung. — **Uller:** Elektrische Schwingungen und Wellen, Radiotechnik I, 1; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Lihotzky:** Einfluß der Beugung auf die optische Abbildung, 1; Kolloquium über Fragen aus der angewandten Optik, 1 *g*. — **Georgii:** Wetter und Wettervorhersage, 2. —

Technische Hochschule Graz. **Kohlrausch:** Physik I: Optik, 3 und 5, II: Wärmelehre, 3 und 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Gebiete der chemischen Physik; Physikalisches Praktikum, 6. —

Universität Greifswald. **Krüger:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 5; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 3; Praktikum der angewandten Elektrizitätslehre, 3; Anleitung zu selbständigen physikalischen Vertretungen, tägl.; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (Kolloquium) (mit Reinkober), $1^1/_2$ *g*. — **Seeliger:** Theoretische Physik II: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 3; Übungen für mittlere Semester, 1; Seminar für Fortgeschrittene: Wellenmechanik, 14tägig, 2; Anleitung zu selbständigen

Untersuchungen, tägl. — **Reinkober**: Ausgewählte Kapitel aus der experimentellen Elektrizitätslehre, 1; Physikalische Maßeinheiten und Meßmethoden, 1; Physikalisches Handfertigkeitspraktikum, 3; Heeresphysik in praktischen Übungen, *g*; Seminaristische Übungen (mit Schlomka), 2. — **Schlomka**: Mechanik des Erdkörpers, 1; Grundlagen des Motor- und Segelfluges, 2. — **ten Bruggencate**: Sphärische Astronomie und geographische Ortsbestimmung, 2; Mechanik des Himmels, 2. —

Universität Halle. Hoffmann: Experimentalphysik II, 4; Elektrizitätsleitung in Gasen, 1; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner, 3, für Landwirte und Pharmazeuten, 2; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten (mit Pose), tägl.; Physikalisches Proseminar (mit Pose), 2; Physikalisches Kolloquium (mit Smekal), 2 *g*. — **Smekal**: Elektrizität und Magnetismus, 4; Physik der Atomkerne, 1; Anleitung zu selbständigen theoretischen und experimentellen physikalischen Arbeiten, tägl.; Seminar für theoretische Physik, 2. — **Pose**: Experimentalphysik für Fortgeschrittene, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3. —

Universität Hamburg. Koch: Experimentalphysik II: Wärme, Elektrizität, 4; Physikalisches Praktikum (mit Goos, Minkowski, Meyer und Müller), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Tams, Goos, Minkowski und Meyer), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Lenz und Möller), 2. — **Lenz**: Mechanik II, mit Übungen, 4; Theoretisch-physikalisches Vortragsseminar, 2. — **Minkowski**: Das Atom, 2; Physikalisches Proseminar, 2. — **Goos**: Die optischen Instrumente, 1. — **Meyer**: Einführung in die Technik der Röntgenstrahlen, 1. — **Knauer**: Lichtelektrische Erscheinungen, 1. — **Müller**: Anleitung zur Ausführung von physikalischen Schulversuchen, 4. — **Möller**: Wechselstromtechnik, mit Übungen, 3; Behandlung von Schwingungsaufgaben mit komplexen Amplituden, 1; Elektrische Maschinen mit Versuchen, 1; Elektrotechnisches Praktikum, 10; Physikalisch-technisches Kolloquium, 2; Physikalisch-technisches Praktikum für Gewerbelehrer, 10; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten Fortgeschrittener, tägl.; Feldnachrichtengeräte, 1. — **Schott**: Geophysikalisches Kolloquium (mit Schulz, Tams und Kuhlbrodt), 14tägig, $1^1/_2$. — **Jensen**: Ausgewählte Kapitel aus der atmosphärischen Optik, 1; Moderne Probleme der Kosmophysik, 1; Kosmophysikalisches Kolloquium, 2. — **Tams**: Grundzüge der Erdbebenforschung, 2; Seismische Übungen, 2; Seminar über die Physik der festen Erde, 14tägig, 2. — **N. N.**: Atmosphärische Elektrizität und Optik, 2; Meteorologisches Praktikum, 4; Meteorologisches Vortragsseminar, 14-tägig, 2; Aerophysikalische Forschungsarbeiten, tägl. — **Kuhlbrodt**: Allgemeine Klimatologie, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten in der maritimen Meteorologie, nach Verabredung. —

Technische Hochschule Hannover. Precht: Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum, 4 und 6; Arbeiten im physikalischen Laboratorium für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Kolloquium (mit Herweg und Fues), 2. — **Fues**: Theoretische Physik, 3, Übungen, 2; Seminar über Fragen der neueren Physik, 2; Einführung in die Methode der theoretischen Physik, 2, Übungen, 1. — **Stierstadt**: Praktische Physik, 2; Elektrisch-physikalische Probleme der technischen Landesverteidigung, 1. — **Seilkopf**: Allgemeine Meteorologie und Aerologie, 2. — **Herweg**: Drahtlose Telegraphie und Telephonie I, 2; Photographie, 2; Photographisches Praktikum, 3; Hochfrequenzpraktikum, 4 und 3; Arbeiten im Hochfrequenzlaboratorium für Fortgeschrittene, 6; Hochfrequenzkolloquium, 2. — **Hase**: Temperaturmessung, 2; Praktikum für Wärmemeßtechnik, 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten für Wärmemeßtechnik, 6. —

Universität Innsbruck. Lerch: Experimentalphysik I, 5; Physikalisches Praktikum (mit Tagger), 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, 10 *g*; Besprechung neuerer Arbeiten aus dem Gebiete der Physik und Geophysik (mit Heß, March und Wagner), 1 *g*. — **Heß**: Elektrizität und Magnetismus, 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten Vorgeschrittener, 10. — **March**: Mechanik I, 5; Seminarübungen, 2 *g*. — **Sonvico**: Radiotechnik, 2 *g*. — **Oberguggenberger**: Einführung in die Astrophysikalischen Arbeitsmethoden, 4; Astrophotographie, 1. — **Wagner**: Allgemeine Meteorologie, 4; Methoden zur Verarbeitung meteorologischer Beobachtungen, 1; Wissenschaftliche Arbeiten Fortgeschrittener, 10 *g*. —

Universität Jena. Wien: Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 4; Physikalisches Praktikum (mit Hanle), 6, 4 und 3, für Fortgeschrittene (mit Joos und Hanle), 10; Leitung physikalischer Spezialaufgaben (mit Straubel, Joos und Hanle), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Esau, Joos und Jentzsch), 2 *g*. — **Joos**: Theorie des Lichts, 3, Übungen, 1; Atomistik der Elektrizität, 1; Ballistik, 1; Vortragsseminar für höhere Semester, 1 *g*; Physikalisches Proseminar (mit Hanle), 1 *g*; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Bauersfeld**: Flugmechanik, 1. — **Hanle**: Experimentalphysik für Fortgeschrittene IV: Atomistik, 2; Röntgenstrahlen, 1; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Wessel**: Quantenmechanik II, 2, Übungen, 1; Vektorrechnung, mit Übungen, 2. — **Esau**: Wechselstromtechnik, 3; Technisch-physikalisches Praktikum, 3; Großes technisch-physikalisches Praktikum, tägl.; Technisch-physikalisches Seminar, 2 *g*. — **H. Müller**: Ausgewählte Kapitel aus der Hochspannungsmeßtechnik, 1; Hochspannungsversuchstechnik, 1. — **Jentzsch**: Strahlenoptik, 2; Utilitarische Optik, 1; Praktikum der wissenschaftlichen Mikroskopie, 2; Praktikum der optischen Untersuchungsmethoden, 4; Leitung selbständiger Arbeiten, tägl.; Optisches Seminar, 14tägig, 2 *g*. — **Siedentopf**: Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie, 1. — **Rzymkowski**: Photographisches Praktikum für Fortgeschrittene, 3. — **Sieberg**: Bewegungsvorgänge in der Erdrinde und ihre Mechanik, 1; Erdbebenkundliches Praktikum, *g*; Anleitung zu selbständigen erdbebenkundlichen Arbeiten, tägl. *g*; Erdbebenkundliches Kolloquium, nach Verabredung *g*. — **Meißer**: Erdmagnetismus, Luftelektrizität, 1; Was leistet die Geophysik für die Erforschung des Erdkörpers, 1. — **M. Müller**: Einführung in die angewandte Geophysik, 1. — **Hecker**: Geophysikalisches Praktikum: a) Einführung in die Instrumentenkunde der geophysikalischen Aufschließungsmethoden (mit Meißer), 2 *g*, b) Allgemeine geophysikalische Untersuchungsmethoden (mit Meißer), 2 *g*; Geophysikalisches Kolloquium (mit Meißer und Müller), 14tägig, 2 *g*; Anleitung zu selbständigen geophysikalischen Untersuchungen (mit Meißer), tägl. *g*. — **John**:

Wettervorhersage, 1; Praktikum für Wettervorhersage, 2 g. —

Technische Hochschule Karlsruhe. **N. N.:** Experimentalphysik I A, 3; Physikalisches Laboratorium, 6 und 3, für Vorgeschrittene, 6; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im physikalischen Institut, nach Verabredung; Physikalisches Kolloquium (mit Riede), 14tägig, 2 g. — **N. N.:** Theoretische Physik A: Thermodynamik, Statistik, 4, Übungen, 1; Grundlagen der Physik, für Vorgeschrittene, 1; Spektroskopische Übungen, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, halbtägig; Theoretisch-physikalisches Seminar über Elektrodynamik, 14tägig, 2 g. — **Peppler:** Synoptische Meteorologie: Problem der Wettervoraussage, 2; Meteorologische Übungen, 2; Flugmeteorologie, 1 g. — **Riede:** Technische Optik B: Wellen- und Strahlungslehre, 2; Optisches Laboratorium, 3; Physikalische Meßkunde (Ergänzung zum physikalischen Anfänger-Laboratorium), 1; Das Mikroskop und seine Ergänzungsgeräte, 1. — **Scheel:** Die Entladungs- und Steuerungsgesetze der Elektronenröhren, ihre Berechnung, Konstruktion und Herstellung, Meßtechnik, 2. — **Weigel:** Grundzüge der physiologischen Optik I, 2. —

Universität Kiel. **Rausch v. Traubenberg:** Experimentalphysik: Elektrizität und Optik, 4; Geographisch-, geologisch-physikalischer Kursus (mit Schmieder, Wasmund und Wolf), 4 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Vorgeschrittene, 8; Forschungsarbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Unsöld und Martienssen), $1^1/_2$ g. — **N. N.:** Ergänzungen zur Experimentalphysik, 1; Einführung in das Physikalische Praktikum, 1; Forschungsarbeiten, tägl. — **Unsöld:** Thermodynamik und kinetische Gastheorie, 4, Übungen, 1; Elektrodynamik bewegter Medien, 1; Seminar für theoretische Physik, 1. — **Martienssen:** Einführung in die Elektrotechnik, 2. — **Schmidt:** Übungen im Schulexperimentieren, für Lehramtskandidaten, 1. —

Universität Köln. **Rinkel:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Wärme, 4; Physikalisches Anfängerpraktikum (mit Hiedemann), 7; Physikalisches Praktikum für Mediziner (mit Hiedemann), 3, für Fortgeschrittene (mit Hiedemann), 9; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Falkenhagen und Hiedemann), tägl. — **Försterling:** Strahlungstheorie und Quantentheorie, 4, Übungen, 1; Praktikum für Fortgeschrittene (mit Malsch), 4; Wissenschaftliche Arbeiten (mit Malsch), tägl.; Kolloquium über neuere Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Rukop), 2 g. — **Rukop:** Technische Akustik, Thermische und optische Meßmethoden, 4, Seminar, 1 g; Selbständige wissenschaftliche Untersuchungen, tägl. — **Falkenhagen:** Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften I, 3, Übungen, 2; Quantentheorie und Chemie, 1; Physikalisches Rechenseminar für Anfänger (mit Hiedemann), 2; Struktur der Materie (mit Hiedemann), 14tägig, 2 g. — **Malsch:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene, 2. — **Lassen:** Elementare Theorie der Elektrizitätsleitung in Gasen, 2. — **Hiedemann:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Wellenlehre, 2, Übungen, 1. —

Universität Königsberg. **Kaufmann:** Experimentalphysik II: Magnetismus, Elektrizität, 4; Physikalisches Kolloquium (mit Gans und Kretschmann), 14tägig, 2 g; Physikalisches Praktikum (mit Gans), für Physiker und Mathematiker, 6, für Chemiker und Biologen, 3; Physikalisches Proseminar, 14tägig, 2 g. — **Gans:** Molekular- und Atomphysik, 4; Übungen zur theoretischen Physik, 1 g; Selbständige Arbeiten in experimenteller und theoretischer Physik für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Seminar (mit Kretschmann), 14tägig, 2 g. — **Steinke:** Experimentalphysik II: Elektrizität, 1, Übungen, 2; Wechselströme, 14tägig, 2. — **Stuart:** Experimentelle Grundlagen der Quantentheorie, 1; Physikalische Meßmethoden (Ergänzungen zum physikalischen Praktikum), 1. — **Reichenbächer:** Wellenmechanische Theorie des Atoms, 2. — **Kretschmann:** Wärmelehre, 4, Übungen, 1 g. — **Walter:** Einführung in die Astrophysik, 2. — **Raethjen:** Die Technik im modernen Luftkriege, 1; Hydrodynamik, 1; Besprechung geophysikalischer und meteorologischer Arbeiten (mit Errulat), 2 g; Meteorologisches und Aerologisches Praktikum, nach Verabredung. — **Errulat:** Allgemeine Geophysik, 2; Geophysikalische Übungen, nach Verabredung g. —

Universität Leipzig. **Debye:** Experimentalphysik II: Licht, Magnetismus, Elektrizität, 5; Höhere Physik, experimentelle und mathematische Ergänzungen zur allgemeinen Experimentalphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 3, 6 oder 9, für Fortgeschrittene, 9; Selbständige physikalische Arbeiten, tägl.; Seminar über die Arbeiten des Instituts, 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Heisenberg), $1^1/_2$ g. — **Heisenberg:** Theoretische Physik IV: Optik, 2, Übungen, 1 g; Ausgewählte Kapitel der Quantentheorie, 1; Seminar über die Struktur der Materie (mit Hund), 2 g; Selbständige theoretisch-physikalische Arbeiten (mit Hund), tägl. — **Hund:** Einführung in die Quantentheorie, 2; Seminar: Schulphysik vom höheren Standpunkt, 2 g. — **Schiller:** Einführung in die technische Mechanik, mit besonderer Berücksichtigung der Ballistik, 2; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 9; Selbständige technisch-physikalische Arbeiten: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, tägl.; Seminar: Besprechung neuerer Arbeiten: Hydro-, Aero- und Thermodynamik, 14tägig, 2 g. — **Karolus:** Hochfrequenztechnik, 2, Übungen, 3; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Elektrizitätslehre, 9; Selbständige technisch-physikalische Arbeiten: Angewandte Elektrizitätslehre, tägl. — **Möbius:** Das physikalische Experiment im Schulunterricht, mit Demonstrationen, 1. — **Kaempf:** Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, 1. — **Schmidt:** Anwendung funktionstheoretischer Methoden, insbesondere konf. Abbildung, auf die Strömungslehre, 2; Theorie der Schwingungen und Wellenvorgänge, 1. — **Weickmann:** Dynamik der Atmosphäre, 2; Geophysik im Kriege, 2 g; Arbeiten im Geophysikalischen Institut, tägl. g; Geophysikalisches Praktikum, 3; Geophysikalisches Kolloquium, 2 g. —

Universität Marburg. **Grüneisen:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Optik, 5; Physikalisches Kolloquium, 2 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Tomaschek), 6, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Leitung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Schulze und Tomaschek), tägl. — **Schulze:** Einführung in die theoretische Physik: Wärme, Strahlung, Elektronentheorie, 2; Mechanik II: Elastizitätstheorie und Hydrodynamik, 5;

Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Tomaschek**: Atomphysik II, 2. — **Berek**: Ausgewählte Kapitel optischer Meßinstrumente, 2. — **Vogt**: Physikalische Statistik, 2. —

Universität München. Gerlach: Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Optik, 5; Physikalische Übungen für Anfänger, 4, Ergänzungskurs (mit Schütz), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Rüchardt und Schütz), tägl.; Praktikum für Fortgeschrittene (mit Schütz), tägl.; Physikalisches Seminar (mit Rüchardt und Schütz), $1^1/_2$ g. — **Sommerfeld**: Maxwellsche Theorie und Elektronentheorie, 4, Übungen (mit Bechert), 2 g; Seminar (mit Bechert), 2 g; Spezialvorlesung für Fortgeschrittene, 1 g. — **Schmauß**: Meteorologie I, 4; Meteorologisches Seminar, 1 g. — **Rüchardt**: Höhere Experimentalphysik I: Mechanik und Hydrodynamik, 3. — **Kirchner**: Grundlagen der Atomphysik (als Einführung in die theoretische Physik), 3. — **Geiger**: Meteorologisches Instrumentenpraktikum, 2. — **Schütz**: Ballistik, 1. — **Bechert**: Thermodynamik, 2; Kernphysik auf wellenmechanischer Grundlage, 2.—

Technische Hochschule München. Zenneck: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, Optik, Magnetostatik, Elektrostatik, Elektrische Ströme, 6; Physikalisches Praktikum, 4 oder 8, für Fortgeschrittene (mit Kulenkampff), halbtägig; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten (mit Kulenkampff), ganztägig. — **Frank**: Experimentalphysik, 4; Angewandte Physik, 1, Übungen, 2; Physikalische Übungen für Landwirte, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus Physik, ganztägig; Witterungskunde, 1. — **Fischer**: Grundzüge der Physik I: Mechanik, Akustik, Wärmelehre, 3; Elektron- und Atombau, 2; Praktisch-physikalische Übungen, 4; Einführung in die wissenschaftlichen Methoden der Physik: Anleitung zu selbständigen Arbeiten, 8. — **v. Angerer**: Experimentalphysik für Fortgeschrittene V: Ergänzungen zur Atomphysik und Astrophysik, 1. — **N. N.**: Relativitätstheorie, 2. — **Kulenkampff**: Elektrophysik der hohen Atmosphäre, 1. — **Kühl**: Photographische Optik, 2. — **Dieckmann**: Drahtlose Telegraphie und Telephonie I, 3, Übungen, 1; Luftnavigation, 1; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Gebiet der angewandten Physik, tägl. — **N. N.**: Meteorologie und Klimatologie, 2. — **Huber**: Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Ballonfahrten und Flugzeugaufstiege, 1. — **N. N.**: Anwendungen der Thermodynamik auf physikalisch-chemische Erscheinungen, 2; Technisch-physikalisches Praktikum, 4; Anleitung zur Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiet der technischen Physik, tägl. — **Reiher**: Einführung in die Gesetze der Wärmeübertragung, 1; Wärme- und Schalltechnik im Hausbau, 1. — **Nusselt**: Gesetze der Wärmeströmung, 3. — **Hausen**: Gasverflüssigung und Zerlegung von Gasgemischen bei tiefen Temperaturen, 2. —

Universität Münster. Schmidt: Experimentalphysik: Elektrizität und Optik, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Durau), 3 oder 6, für Mediziner, 3, für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Seminar (mit Durau), $1^1/_2$ g. — **Kratzer**: Mechanik, 4, Übungen, 2; Statistische Mechanik, einschließlich Quantenstatistik, 3; Seminar über Atombau, 2 g; Seminar über Raum und Zeit (mit Scholz), 2 g. — **Siemens**: Allgemeine Elektrotechnik I, 2 g. — **Durau**: Lichtelektrische Erscheinungen, 1; Physikalisches Halbpraktikum, tägl. außer Sonnabend, für Fortgeschrittene, tägl. —

Universität Prag. Fürth: Experimentalphysik I, 5; Ergänzungen, 2; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Pharmazeuten, 3; Seminar über technische Physik, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Frank und Blüh), 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Fortgeschrittene, 10. — **Frank**: Relativitätstheorie, 4; Die physikalische Begriffsbildung und ihre Grenzen, 1; Einführung in die theoretische Physik I: Mechanik, 5; Seminar für theoretische Physik, 2; Übungen im Lösen von Aufgaben, 1. — **Blüh**: Einführung in die Physik für Pharmazeuten, 5; Hochvakuumtechnik, 2; Physikalisch-historische Lektüre, 1. — **Pollak**: Wetter und Wettervorhersage, Methodik des wetterkundlichen Unterrichtes, 3; Geophysikalische Aufschlußmethoden, 2; Geophysikalisches Praktikum, 3; Übungen für Fortgeschrittene, 15. —

Technische Hochschule Prag. Tuma: Physik: Reine Mechanik, 5; Physikalisches Praktikum, 3, für Lehramtskandidaten, 6; Technische Physik, 3. — **Lichtenecker**: Grundzüge der theoretischen Physik: Elektrizitätsleitung in festen Körpern, 2. — **Körner**: Wärmelehre der Gase, 2. —

Universität Rostock. Füchtbauer: Experimentalphysik, 4; Physikalische Übungen, 8; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar (Kolloquium) (mit Jordan und Kunze) 14 Tage, $1^1/_2$ g. — **Jordan**: Thermodynamik, mit Übungen, 4; Einführung in die Wellen- und Quantenmechanik, 2. — **Falckenberg**: Allgemeine Meteorologie, 1 g; Meteorologisches Kolloquium, 14tägig, $1^1/_2$ g; Meteorologisches Praktikum für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, tägl. — **Kunze**: Vektoranalysis mit Anwendungen, 1; Forschungsergebnisse der modernen Physik, 1; Fernmeldetechnik, g. —

Technische Hochschule Stuttgart. Regener: Physik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3, III: Elektrische Wellen und Optik, 3; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 3, für Fortgeschrittene (mit Braunbek), 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Ewald), $1^1/_2$. — **Braunbek**: Physikalische Messungen, zur Einführung in das physikalische Praktikum, 2. — **Kramer**: Einführung in die wissenschaftliche Photographie, 3. — **Ewald**: Theoretische Physik III: Elektrodynamik, 4, Übungen, 3; Anleitung zu Arbeiten auf dem Gebiet der theoretischen Physik, nach Verabredung; Seminar über Atomphysik (mit Hückel und Hönl), 2. — **Hückel**: Kinetische Theorie der Gase, 2, Übungen, 1; Neuere Vorstellungen über die Natur der Lösungen, 2. — **Hermann**: Kristalloptik, 2. — **Hönl**: Einführung in die Quantentheorie, 2. — **Glocker**: Röntgentechnik, 2; Röntgenpraktikum für Anfänger, 3, für Fortgeschrittene, 3; Übungen zur Materialprüfung mittels Röntgenstrahlen, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Röntgenlaboratorium, ganztägig. — **Dehlinger**: Aufbau und Technologie kristalliner Stoffe: Metallphysik, 1; Statistische Thermodynamik, mit besonderer Berücksichtigung der festen Körper, 2. — **Kleinschmidt**: Allgemeine Meteorologie, 2. —

Universität Tübingen. Geiger: Experimentalphysik: Elektrizität, Optik, 4; Physikalische Übungen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8; für Mediziner, 3; Wissenschaftliche Untersuchungen,

ganztägig; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*. — **Back:** Physik des Atomkerns vom spektroskopischen Standpunkt, 2. — **N. N.:** Thermodynamik, 4. —

Universität Wien. **Jäger:** Mechanik, 5; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. *g*; Proseminar für theoretische Physik, 1 *g*; Besprechung neuerer Arbeiten, 1 *g*. — **Meyer:** Radioaktivität, 3; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener im Radiuminstitut, tägl. *g*. — **Ehrenhaft:** Experimentalphysik I, 5, Theoretische Ergänzungen, 1 *g*, Demonstrationsergänzungen, 1 *g*, Seminar, 1 *g*; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. *g*. — **Schweidler:** Experimentalphysik I, Demonstrationsergänzungen, 1 *g*; Mittelschul-Experimentier-Praktikum, 6; Theorien der Gewitterelektrizität, 1 *g*; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. *g*. — **Thirring:** Theorie der Elektrizität, 5; Hydrodynamik, 1; Seminar für theoretische Physik, 1 *g*, Proseminar für theoretische Physik, 1 *g*. — **Dittler:** Die physiko-chemischen Grundlagen der Mineralogie und Petrographie, 5; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten für Vorgeschrittene, ganztägig *g*. — **Hatschek:** Experimentalphysik, 5; Physikalisches Praktikum, 6, für Vorgeschrittene, 12; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Kottler:** Wärme, 5. — **Przibram:** Einführung in die Atomistik: Aufbau der Materie aus kleinsten Teilchen und deren Beschaffenheit, 2, Mathematische Ergänzungen, 1. — **Lampa:** Die Weltanschauung großer Physiker, von Galilei bis zur Gegenwart, 2. — **Haas:** Die physikalischen Grundlagen des Tonfilms, 1. — **Kirsch:** Geomechanik und geologische Zeitmessung, 2; Einführung in wissenschaftliche Arbeiten (mit Stetter), 12. — **Flamm:** Partielle Differentialgleichungen der Physik I, 3, Rechenübungen, 1. — **Konstantinowsky:** Ausgewählte Kapitel aus der Elektrostatik, mit Anwendungsbeispielen aus der Hochspannungstechnik, 1. — **Ettenreich:** Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiete der hochfrequenten Schwingungen und Elektronenentladung, 2. — **Stetter:** Elektrische Entladungen in Gasen, 1. — **Mattauch:** Isotopenforschung und Kernstruktur, 2. — **Sexl:** Schwingungen von Saiten und Membranen, 2. — **Bauer:** Wellenmechanik I, 1; Theorie der Bandenspektren, 1. — **Ortner:** Physik der Röntgenstrahlen, 2. — **Seidl:** Experiment und Theorie des Wechselstromes, 2. — **Schmidt:** Einführung in die Physik der Erde, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. *g*; Besprechungen neuerer meteorologischer Literatur (mit Conrad und Schedler), 2. — **Conrad:** Methoden der Klimatologie I, 2. — **Schedler:** Meteorologische Apparate und Meßmethoden, 1. —

Universität Würzburg. **Harms:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Optik, 5; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Mathematiker, 6, für Mediziner und Pharmazeuten (mit Döpel), 3, für Fortgeschrittene (mit Döpel), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Ort:** Mechanik, 4, Übungen, 1 *g*; Schwingungs- und Eigenwertprobleme der theoretischen Physik, 2; Quantenmechanik, für Fortgeschrittene, 2 *g*. — **Döpel:** Neuere Ergebnisse der Atomkernforschung, 1; Physikalisch-seminaristische Übungen, 2 *g*. —

Universität Zürich. **Meyer:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5, Ergänzungen, 1, Seminar (mit Bär), 2 *g*; Physikalisches Praktikum, für Anfänger, $3^1/_2$, für Vorgerücktere, halbtägig, Ausführung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Wentzel und Bär), 2 *g*. — **Wentzel:** Thermodynamik und kinetische Theorie der Gase, 4, Übungen, 1; Atomtheorie der Kristalle, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 *g*. — **Ratnowsky:** Statische Mechanik, 2. — **Bär:** Übungen im Demonstrieren von Schulexperimenten, 2. — **Schein:** Kosmische Strahlung, 1. — **Frl. Stücklen:** Die lichtelektrischen Erscheinungen, 1. — **Zuber:** Physik der Elektronenröhren, 1; Repetitorium der Physik, 1. — **Götz:** Die Stratosphäre, 1. — **Stueckelberg:** Theoretische Spektroskopie, 2. —

Technische Hochschule Zürich. **Scherrer:** Physik I, 4, Repetitorium, 1; Wellenmechanik vom experimentellen Standpunkte aus, 2; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, 6 und 8, für Fortgeschrittene, 8, 12 und 24; Physikalisches Kolloquium (mit Pauli und Tank), 2; Selbständige Arbeiten in Physik, 8, 12 und 24. — **Pauli:** Statistische Mechanik und Quantentheorie, 3, Übungen, 1; Ausgewählte Kapitel der Optik, 2; Wissenschaftliche Arbeiten in theoretischer Physik, 12 und 24. — **Tank:** Experimentalphysik II, 3, Übungen, 1; Hochfrequenztechnik I, 2; Technische Optik, 2; Praktikum in Hochfrequenztechnik, 4, 8 und 12; Selbständige Arbeiten in Physik, 8, 12 und 24; Diplomarbeiten in Hochfrequenztechnik. — **Trümpler:** Anwendungen physikalisch-chemischer Berechnungen auf chemisch-technische Prozesse, 1. — **Sänger:** Ferromagnetismus in Theorie und Anwendung, 2. — **Rüst:** Photographie I, 2, Mikrophotographie, 1; Photographisches Praktikum, 2; Photographisches Vollpraktikum, tägl. — **Brandenberger:** Methoden der Kristallstrukturbestimmung, 1, Übungen, 1. — **Gaßmann:** Geophysikalische Aufschlußmethoden: Seismik, 1 *g*; Schwingungs- und Erschütterungsmessungen, 1 *g*. — **Kienast:** Potentialtheorie, 2. — **Lehmann:** Wetter- und Klimalehre, 2; Allgemeine Meteorologie mit Rücksicht auf das Flugwesen, 1. — **Zeller:** Photogrammetrie II: Luftphotogrammetrie, 2, Übungen, 2. —

Personalien.

(Der Herausgeber bittet die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Habilitiert: An der Universität Budapest Dr. Rudolf F. Schmid für Spektroskopie, an der Universität München Dr. Georg Aumann für Mathematik, an der Universität Wien Dr. Alfred Friedrich für medizinische Chemie unter besonderer Berücksichtigung der analytischen Chemie, an der Technischen Hochschule Stuttgart Dr. H. Hönl für theoretische Physik.

Ernannt: Der Privatdozent der Chemie und Assistent am chemischen Laboratorium der Universität Leipzig Dr. Arnold Weißberger in gleicher Eigenschaft an Dyson Perrins Laboratory Oxford.

Vom Lehramt zurück: Der ord. Professor der Experimentalphysik an der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Wolfgang Gaede und der Privatdozent der Chemie an der gleichen Hochschule Dr. Albert Wassermann.

Gestorben: Der frühere a. o. Professor der Chemie an der Universität Berlin Dr. Oscar Emmerling, der Vorsitzende des Nobel-Komitee für Chemie frühere ord. Professor der Chemie Dr. Henrik Gustaf Söderbaum, der Professor der theoretischen Physik an der Universität Leiden Dr. P. Ehrenfest.

Für die Schriftleitung verantwortlich Prof. Dr. P. Debye in Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig.